

UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON

- MEDECINE -

U. E. R. ALEXIS-CARREL

Année 1977 - N° 408

**ETUDE PHYSIOLOGIQUE ET BIOMECHANIQUE
DES ARTICULATIONS DE L'EPAULE.**

**BILAN ACTUEL DES PROTHESES TOTALES
DE L'ARTICULATION SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERI).**

Travail de :

- la clinique de chirurgie orthopédique (Professeur G. de MOURGUES)
- l'unité de biomécanique ostéoarticulaire L. L. OLLIER

Laboratoire d'anatomie (Professeur A. BOUCHET)

THESE

présentée à l'Université Claude-Bernard - LYON

et soutenue publiquement le 28 Septembre 1977

pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

par

Jean-Paul CARRET

né le 9 Mai 1946 à LYON 4° (Rhône)



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553606_0014

UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON
- MEDECINE -
U. E. R. ALEXIS-CARREL

Année 1977 - N° 408

**ETUDE PHYSIOLOGIQUE ET BIOMECHANIQUE
DES ARTICULATIONS DE L'EPAULE.
BILAN ACTUEL DES PROTHESES TOTALES
DE L'ARTICULATION SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERI).**

Travail de :

- la clinique de chirurgie orthopédique (Professeur G. de MOURGUES)
- l'unité de biomécanique ostéoarticulaire L. L. OLLIER

Laboratoire d'anatomie (Professeur A. BOUCHET)

THESE

présentée à l'Université Claude-Bernard - LYON
et soutenue publiquement le 28 Septembre 1977
pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

par

Jean-Paul CARRET

né le 9 Mai 1946 à LYON 4° (Rhône)

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON

MEDECINE

M. E. ALEXANDRE

1931

ETUDE PHYSIOLOGIQUE ET SINDROMATIQUE
DES ARTHRALGIES DE L'ÉPAULE.

SUMMARI ACTUEL DES PROGRES TOTALS

DE L'ARTICULATION SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERUS).

Traité de :

- la clinique de l'arthralgie scapulo-humérale (Précédent de la MORGAGNE)

- l'origine des troubles articulaires (L. GILLET)

Laboratoire d'Anatomie Pathologique



THESE

présentée à l'Université Claude-Bernard - LYON

et soutenue publiquement le 12 Septembre 1931

par le Docteur en Médecine et en Pharmacie

par

Jean Paul GABRIEL

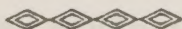
né le 2 Mars 1902 à LYON 4^e (Rhône)

— UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I —

Président de l'Université	M. le Professeur D. GERMAIN
Vice Président	M. le Professeur E. ELBAZ
Deuxième Vice Président	M. B. ROUSSET
Troisième Vice Président	M. R. LOPEZ
Secrétaire Général	M. RAMBAUD

UNITES D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE DE L'UNIVERSITE :

Médecine : GRANGE BLANCHE	M. le Docteur B. SALLE (MCA)
ALEXIS CARREL	M. le Professeur R. MORNEX
SUD-OUEST	M. le Professeur J. NORMAND
LYON NORD	Directeur : M. le Docteur J.P. NEIDHARDT
	Directeur honoraire : M. le Professeur A. BERTOYE
Biologie Humaine	M. le Docteur J.P. REVILLARD (MCA)
Techniques de Réadaptation	M. le Docteur A. MORGON (MCA)
Sciences Pharmaceutiques	M. le Professeur BIZOLLON
Sciences Odontologiques	M. le Docteur R. VINCENT
Institut régional d'éducation physique et sportive ..	Président du conseil d'UER : M. le Professeur
	R. GUILLET,
	Directeur M. A. MILLON
Mathématiques	M. le Professeur E. COMBET
Physique	M. le Professeur J. DELMAU
Chimie et Biochimie	M. le Professeur J. HUET
Sciences de la Nature	M. le Professeur R. GINET
Sciences Physiologiques	Mlle le Professeur J.F. WORBE
Institut Universitaire et Technologie n°1	M. le Professeur B. POUYET
Institut Universitaire et Technologie n°2	M. J. GALLET (Directeur ENSAM)
Observatoire	M. M. MONNET (Astronome Adjoint)
Physique Nucléaire	M. le Professeur GUSAKOW
Mécanique	Mlle le Professeur G. COMPTE-BELLOT.



RESPONSABLES D'ENSEIGNEMENT

de l' U. E. R. ALEXIS CARREL

1er Cycle :

Anatomie - M. le Professeur BOUCHET Alain
Biologie - M. le Professeur GIROD Christian
Chimie-Biochimie - M. le Professeur COLOBERT Louis
M. le Docteur NOFRE Claude, Maître de Conférences Agrégé
Histologie-Embryologie-Cytogénétique - M. le Professeur GIROD Christian
Mathématiques-Statistiques - M. le Professeur SITE Jean
Physiologie - M. le Docteur PELLET Michel, Maître de Conférences Agrégé
M. le Docteur SCHMITT Michel, Maître de Conférences Agrégé
Physique-Biophysique - M. le Professeur BERGER Michel
Psychologie-Médicale - M. le Professeur GUYOTAT Jean
Sciences Sociales et Economie Médicale - M. le Professeur ROCHE Louis

2ème Cycle :

Anatomie Pathologique - M. le Professeur TOMMASI Michel
M. le Docteur LOIRE Robert, Maître de Conférences Agrégé
Bactériologie - M. le Professeur FLEURETTE Jean
Cardiologie - M. le Professeur FROMENT Roger
M. le Professeur GONIN André
Chirurgie Cardiaque - M. le Professeur MARET Gilbert
Chirurgie Digestive - M. le Professeur FRANCILLON Jacques
Chirurgie Générale - M. le Professeur LIARAS Henri
M. le Professeur DESCOTES Jacques
M. le Docteur SPAY Georges, Maître de Conférences Agrégé
Chirurgie Infantile - M. le Docteur DAUDET Maurice, Maître de Conférences Agrégé
Chirurgie Osseuse-Orthopédique - M. le Professeur de MOURGUES Georges
M. le Docteur COMTET Jacques, Maître de Conférences Agrégé.
Dermatologie - M. le Docteur PERROT, Maître de Conférences Agrégé.
Endocrinologie - M. le Docteur BERTHEZENE François, Maître de Conférences Agrégé
Gastro-Entérologie - M. le Professeur BEL André
Génétique Générale - M. le Docteur HERMIER Michel, Maître de Conférences Agrégé
Gynécologie - M. le Professeur ROCHET Yves
M. le Docteur BREMOND Alain, Maître de Conférences Agrégé

Hémobiologie - M. le Professeur MOREL Pierre

Hygiène - M. le Docteur MONIER Jean-Claude, Maître de Conférences Agrégé

Maladies Infectieuses - M. GIROUD Maurice, Professeur Agrégé du Val de Grâce

Maladies du Sang - M. le Professeur REVOL Louis

Médecine Expérimentale - M. le Professeur MORNEX René

Médecine Légale - M. le Professeur ROCHE Louis

Médecine du Travail - M. le Professeur BOURRET Jacques
M. le Docteur EYSSETTE

Néphrologie - M. le Professeur FRANCOIS Bernard

Neuro-Chirurgie - M. le Professeur MANSUY Louis
M. le Docteur FISCHER Georges, Maître de Conférences Agrégé

Neurologie - M. le Professeur DEVIC Michel

Obstétrique - M. le Professeur GARMIER René

Ophthalmologie - M. le Docteur PAUPERT-RAVAULT, Maître de Conférences Agrégé

Oto-Rhino-Laryngologie - M. le Professeur MARTIN Henri

Parasitologie - M. le Docteur BATTESTI

Pédiatrie - M. le Professeur FRANCOIS René

Pharmacologie - M. le Docteur EVREUX, Maître de Conférences Agrégé

Pneumo-Phtisiologie - M. le Professeur TOURAIN Roger
M. le Docteur BERNARD JP., Maître de Conférences Agrégé

Psychologie - M. le Professeur GUYOTAT Jean
M. le Docteur MARIE-CARDINE, Maître de Conférences Agrégé

Radiologie - M. le Docteur BUFFARD, Maître de Conférences Agrégé
M. le Docteur CHOLLAT Louis, Maître de Conférences Agrégé

Rhumatologie - M. le Docteur MEUNIER, Maître de Conférences Agrégé

Séméiologie Chirurgicale - M. le Docteur VIGNAL Jacques, Maître de Conférences Agrégé

Séméiologie Médicale - M. le Professeur VIALA Jean-Jacques

Stomatologie - M. le Professeur DUMAS Pierre

Urgence-Réanimation - M. le Professeur DELEUZE Raymond
Mme le Docteur ESTANOVE Suzanne, Maître de Conférences Agrégé

Urologie - M. le Docteur DUBERNARD P.

EXAMINATEURS DE LA THESE :

Président : Monsieur le Professeur **G. de MOURGUES**

Assesseurs : Monsieur le Professeur Agrégé **J. SCHNEPP**
Monsieur le Professeur Agrégé **J.P. NEIDHART**
Monsieur le Professeur Agrégé **J.J. COMTET**
Monsieur le Professeur Agrégé **L. FISCHER**

A mes Parents,

A Laurence et à Jean-Marie

A notre Maître J. CREYSSEL in memoriam

et à Madame CREYSSEL.

Il fût pour nous un père spirituel.

Nous avons eu la chance d'être son élève comme externe dans son Service et au Val Rosay où il nous a témoigné une grande affection.

Cette Thèse même, qu'il devait juger, a comme racine profonde ses propres préoccupations : il semble bien que ce soit lui qui, le premier au monde, ait placé une prothèse totale d'épaule.

Nous sommes redevable d'un enseignement qu'il poursuivait toujours avec une passion enthousiaste. Son intérêt pour les jeunes ne se relâcha jamais. Récemment il suscita la création d'un groupe de recherches à la faculté (G.A.M.A.) afin de faire bénéficier plus facilement de crédits nos travaux. Il aimait être tenu au courant en détail de l'évolution de nos recherches et nous nous souvenons avec émotion d'après-midi passés place Bellecour seul ou avec Louis Fischer et Georges Gonon.

Nous redisons à Madame Creyssel toute notre admiration et notre respectueuse gratitude.

A NOTRE MAITRE ET PRESIDENT DE THESE

Monsieur le Professeur Georges de MOURGUES.

*Nous sommes fier de faire partie de votre école.
L'accueil que vous nous avez réservé dans le Service, à la
Clinique Saint Charles ou au Puy fût toujours chaleureux.
Nous sommes sensible à l'intérêt que vous portez à nos
travaux et à la confiance que vous nous témoignez.*

*Votre enseignement, la maîtrise de vos indications
et de vos gestes opératoires nous ont marqué ; ils sont à
l'origine de votre vocation orthopédique.*

*Puisse ce travail ne pas vous décevoir et témoigner
de notre reconnaissance et de notre profond respect.*

A NOS MAITRES ET JUGES.

Monsieur le Professeur Agrégé Jean SCHNEPP.

Nous avons été séduit par votre caractère et vos qualités d'opérateur : Vos indications sont nettes, claires, précises.

Nous sommes conscient de l'honneur que vous nous avez fait en nous demandant de travailler avec vous ; nous sommes persuadé d'apprendre beaucoup à vos côtés.

Nous vous remercions de juger ce travail et nous vous assurons de notre gratitude et de notre respectueux dévouement.

Monsieur le Professeur Agrégé Jean-Jacques COMTET.

Votre compétence dans le domaine bien difficile de la chirurgie de la main et de la microchirurgie nous ont toujours impressionné. Vos travaux sur la physiologie de l'épaule nous ont beaucoup appris.

"Pionnier" de la biomécanique à LYON nous espérons que vous jugerez avec indulgence ce travail.

Monsieur le Professeur Agrégé Jean-Pierre NEIDHART.

Nous avons toujours admiré votre immense culture chirurgicale, anatomique et générale. Vous nous avez toujours accueilli au Laboratoire d'Anatomie avec gentillesse.

Votre présence dans ce Jury, nous fait grand plaisir. Nous vous en sommes profondément reconnaissant.

Monsieur le Professeur Agrégé Louis FISCHER.

Nous avons toujours été sensible à vos qualités d'enseignant, de chirurgien et d'humaniste. Vous nous avez toujours dirigé avec gentillesse et patience aussi bien dans le domaine de la chirurgie orthopédique que dans celui de la recherche. Les encouragements que vous nous avez prodigués depuis le début de nos études et les conseils que vous nous avez donnés dans la préparation des concours nous ont beaucoup aidé.

Vous nous avez inspiré ce travail. Nous espérons qu'il restera le témoin de notre gratitude et de notre profonde et sincère amitié.

A NOS MAITRES DANS LES HOPITAUX :

EXTERNAT : Monsieur le Professeur H. LIARAS
Monsieur le Professeur J. CREYSSEL
Monsieur le Docteur CHASSAGNON
Monsieur le Professeur F. CHARVET
Monsieur le Professeur L. ROCHE

INTERNAT : Monsieur le Docteur F. ARCADIO
Monsieur le Professeur J. BOURRET
Monsieur le Professeur P. MICHAUD
Monsieur le Professeur Agrégé J. CHASSIGNOL
Monsieur le Professeur Agrégé H. TERMET
Monsieur le Professeur Agrégé H. VIGNON
Monsieur le Professeur . GODINOT
Monsieur le Professeur M. DAUDET
Monsieur le Professeur Agrégé J. CUILLERET
Monsieur le Professeur J. SOUSTELLE
Monsieur le Professeur G. de MOURGUES
Monsieur le Professeur Agrégé J. SCHNEPP
Monsieur le Professeur Agrégé J.J. COMTET
Monsieur le Professeur Agrégé L. FISCHER
Monsieur le Professeur A. TRILLAT
Monsieur le Professeur Agrégé H. DEJOUR

A NOS MAITRES AU LABORATOIRE D'ANATOMIE :

Monsieur le Professeur A. BOUCHET
Monsieur le Professeur Agrégé G. BRAILLON
Monsieur le Professeur Agrégé J.P. NEIDHART
Monsieur le Professeur Agrégé L.P. FISCHER
Monsieur le Professeur Agrégé A. MORIN

A Monsieur le Professeur Alain BOUCHET.

L'accueil que vous nous avez réservé dans votre Laboratoire fût toujours chaleureux. L'intérêt que vous portez à nos travaux nous encourage.

Nous vous remercions et nous vous exprimons notre gratitude et notre respectueux dévouement.

Au Docteur Georges GONON.

Cette Thèse est le résultat d'un long travail commun. Nous t'assurons de notre profonde amitié.

Au Docteur Alain TEXIER d'ARNOULT.

Votre bon sens médical et vos qualités humaines nous ont toujours touché. Nous vous témoignons de notre sincère amitié.

Au Docteur Jean-Luc LERAT.

Tu nous as beaucoup appris et nous te remercions des observations que tu as eu la gentillesse de nous confier.

A Monsieur et à Madame J. DIMNET.

Cette Thèse est un peu la votre après nos longues soirées de travail à Caluire. Votre collaboration nous a été précieuse, nous vous remercions pour l'intérêt que vous avez porté à ce travail et nous vous assurons de notre profonde et sincère amitié.

A TOUS NOS AMIS DE L'INTERNAT ET EN PARTICULIER

Monsieur le Docteur Xavier BARRAL

Monsieur le Docteur Bernard MOYEN

Monsieur le Docteur Daniel NOYER

Monsieur le Docteur Jean-François SCHUHL

Monsieur le Docteur Jean-Marc SEMAY

A TOUS CEUX QUI NOUS ONT AIDE DANS CE TRAVAIL :

Mademoiselle Nicole CHAUMET

Monsieur le Docteur Alain CLERMONT

Madame VITTOZ qui a réalisé les micro-radiographies

Monsieur G. MOLINOT

Monsieur A. FAVRE

- CHAPITRE I. : ANATOMIE DE L'EPAULE
- CHAPITRE II. : ETUDE CINEMATIQUE DES MOUVEMENTS DE L'EPAULE
- CHAPITRE III. : PHYSIOLOGIE DES MUSCLES DE L'EPAULE
- CHAPITRE IV. : PROTHESES TOTALES DE L'ARTICULATION
SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERI)

Ce travail n'est pas un travail personnel mais celui d'une équipe.

CHAPITRE I.

ANATOMIE DE L'EPAULE

I – LES ARTICULATIONS DE L'EPAULE.

- 1 – L'ARTICULATION SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERI)
- 2 – L'ARTICULATION STERNO-CLAVICULAIRE (A. STERNOCLAVICULARIS)
- 3 – L'ARTICULATION ACROMIO-CLAVICULAIRE (A. ACROMIOCLAVICULARIS)
- 4 – L'ARTICULATION SCAPULO-THORACIQUE
- 5 – L'ARTICULATION SOUS-ACROMIALE

II – LES MUSCLES DE L'EPAULE.

I – LES MUSCLES SCAPULO-HUMERAUX :

- Le sus-épineux (supraspinatus)
- Le sous-épineux (infraspinatus)
- Le petit rond (teres minor)
- Le sous-scapulaire (subscapularis)
- Le grand rond (teres major)
- Le deltoïde (deltoideus)
- Le coraco-brachial (coracobrachialis)

II – LES MUSCLES AXIO-HUMERAUX :

- Le grand pectoral (pectoralis major)
- Le grand dorsal (latissimus dorsi)

III – LES MUSCLES AXIO-SCAPULAIRES :

- Le trapèze (trapezius)
- Le rhomboïde (rhomboides)
- L'angulaire de l'omoplate (levator scapulae)
- Le grand dentelé (serratus anterior)
- Le petit pectoral (pectoralis minor)
- Le sous clavier (subclavius)

IV – LES MUSCLES SCAPULO-ANTEBRACHIAUX :

- Le biceps (biceps brachii)
- La longue portion du triceps (caput longum triceps brachii).



I – LES ARTICULATIONS DE L'ÉPAULE

1 – L'ARTICULATION SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERI)

Elle réunit l'humérus à l'omoplate (scapula) ; elle appartient au genre des énarthroses.

I – LES SURFACES ARTICULAIRES

sont représentées par l'extrémité supérieure de l'humérus en-dehors, la glène (cavitas glenoidalis) de l'omoplate (scapula) en-dedans agrandie par un fibrocartilage : le bourrelet glénoïdien (labrum glénoïdale).

A – L'EXTREMITÉ SUPÉRIEURE DE L'HUMERUS comprend deux parties l'une interne articulaire, la tête humérale (caput humeri) l'autre externe extra-articulaire le massif tubérositaire. (Figure 1).

- a) La tête humérale (caput humeri) représente environ le tiers d'une sphère dont le rayon est de 25 à 30 mm. Elle est recouverte de cartilage hyalin. Elle n'est pas sphérique mais "sphéroïde", car son diamètre vertical (47,5 mm. en moyenne) est plus grand que son diamètre antéro-postérieur (44 mm. en moyenne).

Nous nous sommes intéressés avec J. DIMNET et G.P. GONON, à l'étude des courbures de la tête humérale (caput humeri) dans les trois plans de l'espace.

MATÉRIEL ET MÉTHODE.

1) Principe :

Nous avons appliqué pour l'étude de la courbure des profils osseux, la définition de la courbure et du centre de courbure introduits en géométrie analytique.

Soit une courbe C (Figure 7A) : M_0 un point de C et $M_0 T_0$ la tangente en M_0 à C ; M_1 un autre point de C et $M_1 T_1$ la tangente en M_1 correspondante. Si ΔS correspond à la longueur de l'arc $\widehat{M_0 M_1}$ et $\Delta\theta$ l'angle entre les deux tangentes $M_0 T_0$ et $M_1 T_1$, le rayon de courbure est défini comme la limite (quand M_1 tend vers M_0) du rapport $\frac{\widehat{M_0 M_1}}{\Delta\theta} = R = \frac{\Delta S}{\Delta\theta}$

L'interprétation géométrique est évidente : considérons en M_0 la normale $M_0 N_0$ à la courbe et en M_1 la normale $M_1 N_1$. Les deux normales se recoupent en K (Figure 7B). Entre KM_0 et KM_1 on retrouve l'angle $\Delta\theta$. Le cercle centré en K passant par M_0 et M_1 et de rayon $/KM_0/ = R = /KM_1/$ sous tend un arc $\widehat{M_0 M_1} = \Delta S$ dans l'angle $\Delta\theta$. Nous avons évidemment $\Delta S = R\Delta\theta$. Le rayon de ce cercle coïncide avec le rayon de courbure quand les normales sont infiniment voisines. Le centre du cercle K correspondant est appelé **centre de courbure** et le cercle lui-même **cercle osculateur**. Le cercle osculateur est susceptible d'être une représentation analytique du 2^{ème} ordre du profil de la courbe entre M_0 et M_1 . La trajectoire du centre de courbure K par rapport à la courbe C quand la position de M_0 varie s'appelle la **développée de la courbe C**.

2) Matériel et méthode :

Nous avons prélevé sur des cadavres frais l'extrémité supérieure de l'humérus que nous avons radiographiée dans les trois plans de l'espace. Les radiographies sont tirées sur papier et agrandies sur format 21 x 29,7 pour en faciliter la lecture et améliorer la précision des résultats.

Nous avons tracé les développées des profils de la tête humérale en utilisant la méthode

suivante : nous avons assimilé au centre de courbure le point de rencontre de deux normales voisines pour des positions aussi proches que possible l'une de l'autre (Figure 7C). La trajectoire $K_{12} K_{23} \dots$ constitue une ébauche de la développée. Lorsque nous avons rencontré des concentrations de centres de courbure dans des zones très limitées, nous avons contrôlé les tracés en vérifiant l'adéquation des cercles osculateurs correspondants aux profils réels étudiés (coïncidence entre le profil et un cercle de centre $K_{23} K_{34} \dots$) et passant par 2, 3, 4 ...

Notre étude porte sur 5 pièces anatomiques.

RESULTATS.

1) Dans le plan frontal (Figure 8A) :

la tête humérale présente deux courbures :

- l'une inférieure, de grand rayon, qui correspond à 60 % de son profil et dont les centres se concentrent dans une zone située en dehors du col anatomique (collum anatomicum),
- l'autre supérieure, de petit rayon, qui correspond à 40 % de son profil et dont les centres se concentrent dans une zone située plus haut que la précédente sur le col anatomique (collum anatomicum).

2) Dans le plan horizontal (Figure 8B) :

la tête humérale présente pratiquement une seule courbure sauf à sa partie toute postérieure où il existe une courbure de grand rayon et une de petit rayon. La concentration du plus grand nombre de centres de courbure se projette exactement sur le milieu du col anatomique (collum anatomicum).

3) Dans le plan sagittal (Figure 8C) :

la tête humérale présente quatre courbures successives d'avant en arrière :

- une antérieure, à grand rayon, qui correspond à 10 % du profil de la tête.
- une moyenne, à rayon plus petit, qui correspond à 50 % du profil de la tête.
- une plus en arrière, à rayon encore plus petit qui correspond à 30 % du profil de la tête.
- enfin, une toute postérieure, à grand rayon, qui correspond à 10 % du profil de la tête.

PIZON a précisé le rapport céphalique qui permet d'apprécier la sphéricité de la tête humérale sur le vivant : il s'agit du rapport de la flèche de la tête (f) à son diamètre (cc') (Figure 2). Ce rapport est de 0,423 avec $\sigma = 0,039$, il n'y a pas de variation sexuelle, ni de variation selon le côté droit ou gauche. Si ce rapport est inférieur à 0,346 la tête est aplatie en "anse de panier", s'il est supérieur à 0,502 la tête est "globuleuse".

En position de repos la tête humérale regarde obliquement en haut en dedans et en arrière : on peut donc définir son orientation par deux angles :

1) l'angle d'inclinaison dans le plan frontal formé par l'axe de la diaphyse et l'axe de la tête. Pour TESTUT et LATARJET cet angle varie suivant les sujets de 130° à 150° . PIZON l'a calculé sur 71 épaules, sa valeur moyenne est de $139^\circ 27'$ avec $c = 7^\circ 59'$ (Figure 3). On peut parler d'humérus varus si l'angle d'inclinaison est inférieur à 132° et d'humérus valgus s'il est supérieur à 147° . Dans sa série PIZON note 11,4 % d'humérus valgus pour 10 % d'humérus varus. Il est d'autre part intéressant de remarquer que l'humérus valgus s'accompagnerait d'un aplatissement de la tête (c'est l'humérus en hachette) alors que l'humérus varus s'accompagnerait d'une tête globuleuse (c'est l'humérus globuleux).

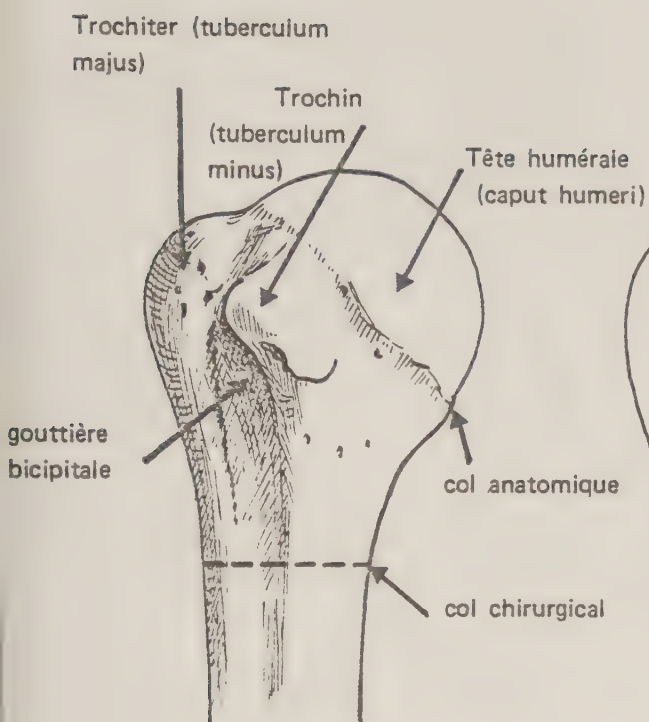


FIGURE 1

Extrémité supérieure
de l'humérus

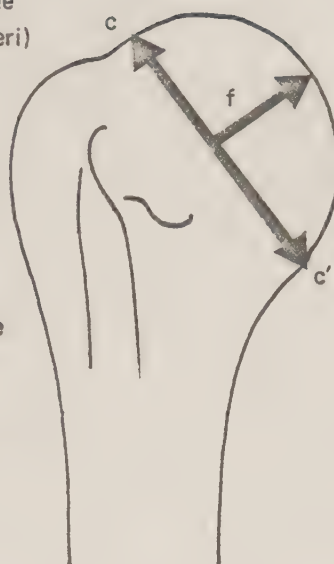


FIGURE 2

Rapport céphalique

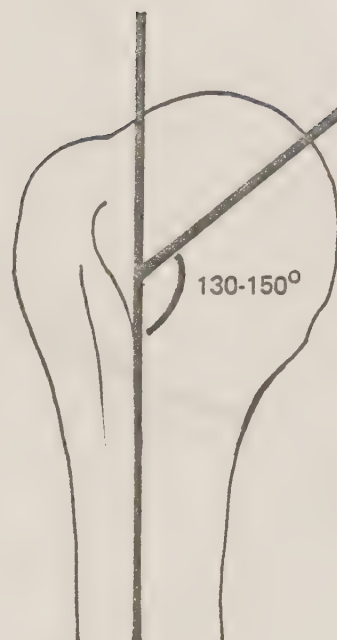


FIGURE 3

Angle d'inclinaison

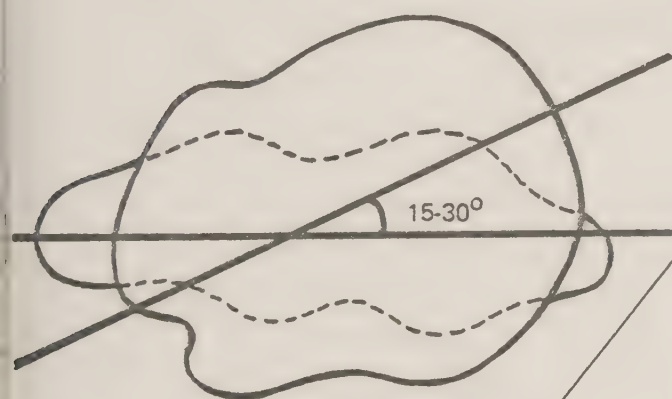


FIGURE 4

Angle de déclinaison

FIGURE 5

Mesure radiologique
de la rétroversion
de la tête humérale

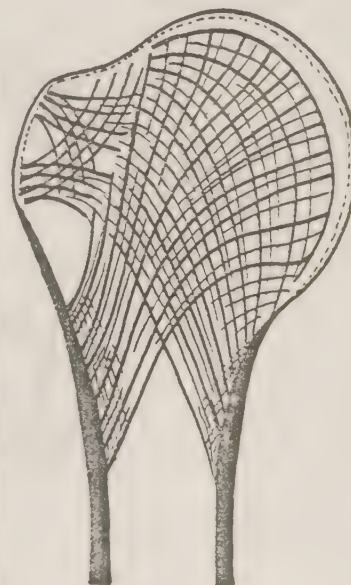
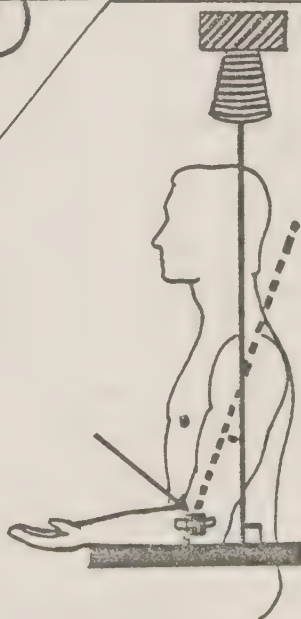
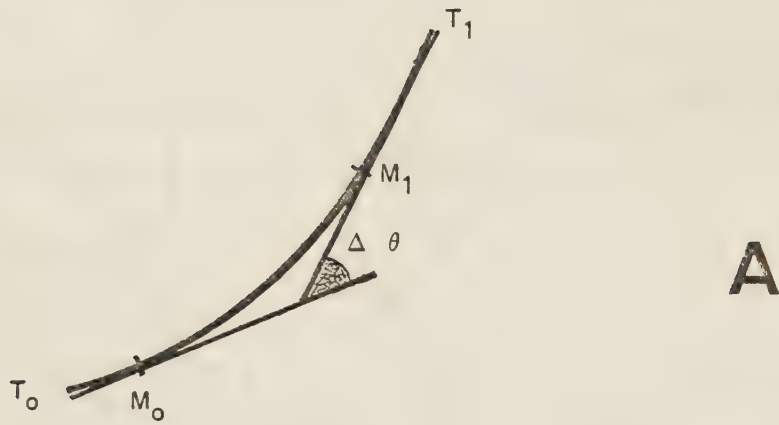
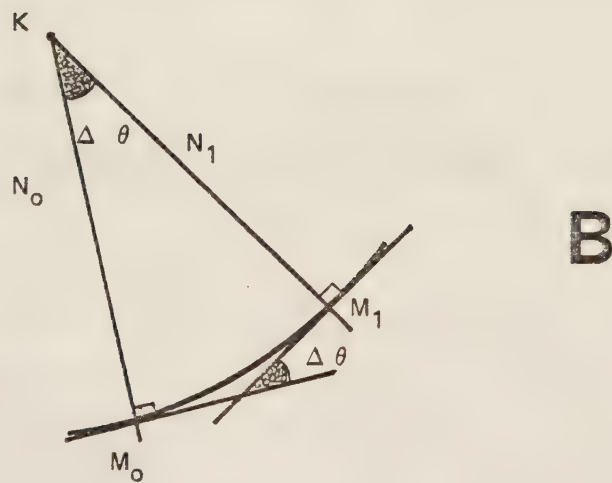


FIGURE 6

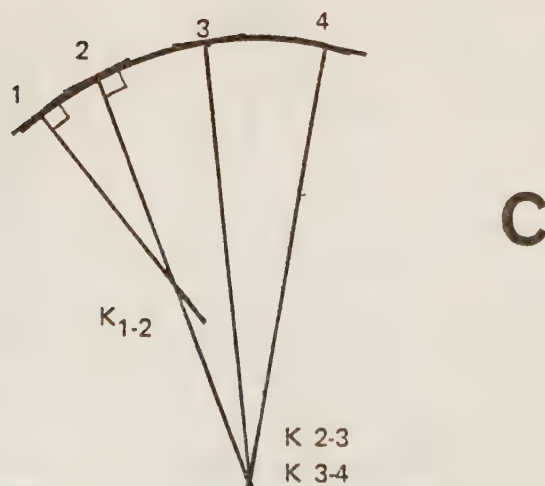
Architecture de
l'extrémité supérieure
de l'humérus



A



B



C

FIGURE 7.

Etude des courbures de la tête humérale - Principe -

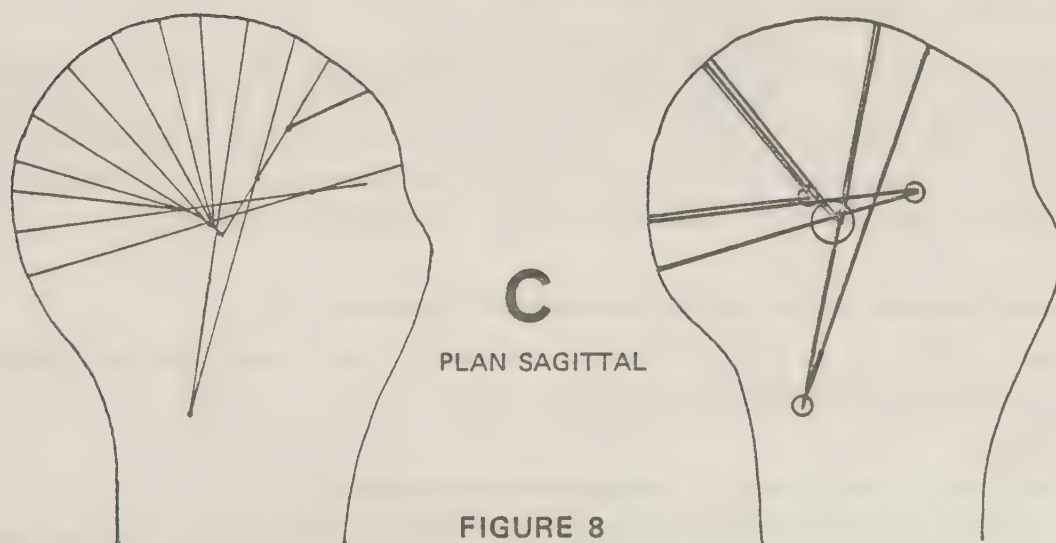
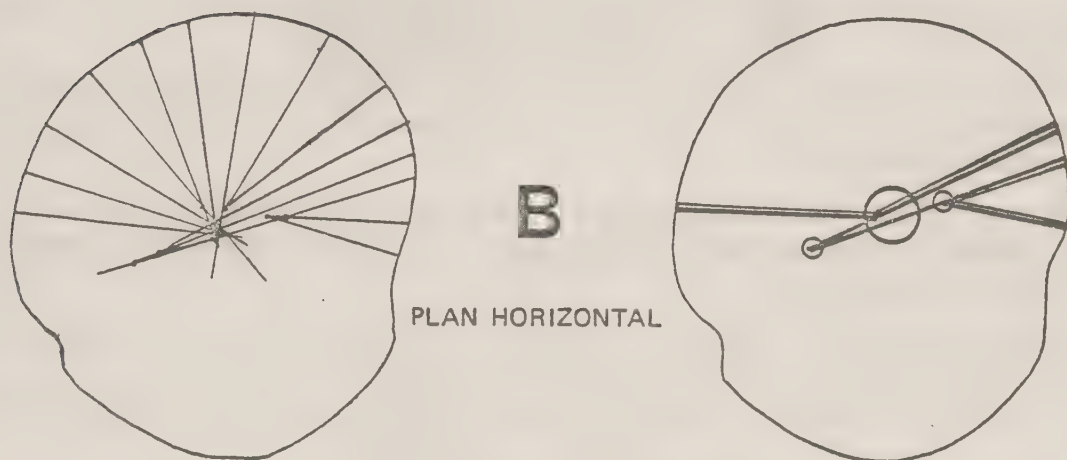
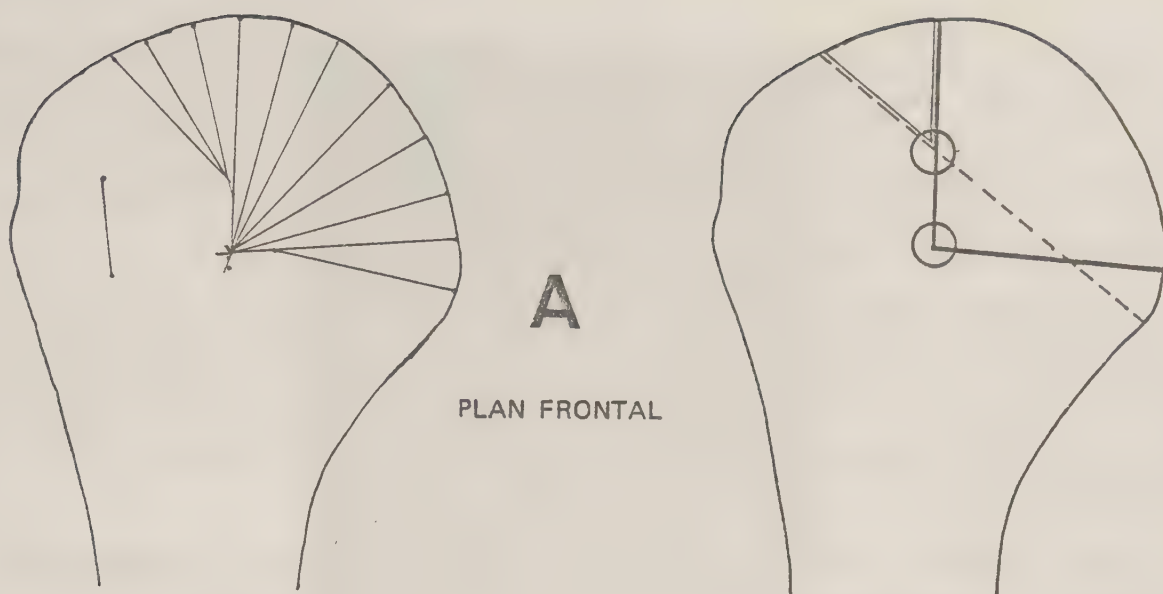


FIGURE 8

Courbures de la tête humérale (caput humeri)

2- l'angle de déclinaison dans le plan horizontal formé par l'axe de la tête humérale et le plan frontal de l'humérus que l'on matérialise par un axe épicondylo-épitrochléen (Figure 4). Cet angle est de 90° chez les quadrupèdes et diminue progressivement au cours de l'évolution phylogénique. Chez l'homme il varie suivant les individus entre 15° et 30° . SAHA l'a trouvé égal à 30° en moyenne sur une population indienne : c'est pour lui un des facteurs de stabilité de l'épaule : plus la rétroversion de la tête est importante plus grande serait l'instabilité.

On peut mesurer radiologiquement in vivo la rétroversion de la tête humérale par la méthode de MUKHERJEE-SIVAYA décrite par SAHA (Figure 5) sur un sujet assis, coude à angle droit, bras fléchi de 15° , une plaque est placée horizontalement sous le coude. Le rayon vertical passe par l'extrémité supérieure de l'humérus. Afin de repérer sur le cliché le plan frontal de l'humérus on place des repères métalliques en regard de l'épicondyle (épicondylus lateralis) et de l'épitrochlée (épicondylus medialis).

La tête humérale est délimitée en-dehors par une partie rugueuse plus ou moins rétrécie, le col anatomique (collum anatomicum) qui la sépare du massif tubérositaire externe non articulaire

b) Le massif tubérositaire externe comporte deux saillies de volume inégal :

- l'une petite, antérieure : le trochin (tuberculum minus) sur lequel s'insère le sous-scapulaire (subscapularis),
- l'autre plus volumineuse : le trochiter (tuberculum majus). sur sa partie postéro-supérieure s'insèrent de haut en bas : le sus-épineux (supraspinatus) le sous-épineux (infraspinatus) et le petit rond (teres minor).

Entre le trochin et le trochiter, la coulisse bicipitale descend sur 6 à 8 cm. Sur ses lèvres s'insèrent en dehors le grand pectoral (pectoralis major) en dedans le grand dorsal (latissimus dorsi) et le grand rond (teres major).

L'extrémité supérieure de l'humérus est séparée de la diaphyse par le col chirurgical. Pour TESTUT il est immédiatement placé en dessous du trochin et du trochiter.

Pour RAZEMON et BAUX il correspond à la zone où s'amenuise l'épaisse corticale diaphysaire.

L'architecture de l'extrémité supérieure de l'humérus (Figure 6) :

Il existe au niveau de la diaphyse humérale une corticale solide qui diminue d'épaisseur vers le haut pour cesser d'être apparente au niveau du col chirurgical. L'épiphyse supérieure est donc recouverte d'une coque corticale très mince.

Le tissu spongieux s'organise en travées qui forment un système ogival à concavité inférieure. Il se prolonge dans la tête de l'humérus par des travées perpendiculaires à la surface articulaire croisées par des travées parallèles à celle-ci. A partir du trochiter (tuberculum majus) les travées partent des insertions musculaires et se dirigent vers le col anatomique et vers la corticale externe ; à partir du trochin (tuberculum minus) elles se dirigent en arrière et en dehors.

La vascularisation artérielle de l'extrémité supérieure de l'humérus :

Nous nous sommes personnellement intéressés à l'étude de cette vascularisation artérielle déjà étudiée par LAING et par NEIDHART et COLL.

Matériel et Méthode :

- Notre étude porte sur 30 humérus (20 d'adultes et 10 de foetus)
- Le réseau artériel d'un cadavre frais est injecté de MICROPAQUE. Les pièces sont prélevées, radiographiées globalement à l'aide d'un appareil radiographique standard puis fixées dans un mélange alcool-formol. On réalise ensuite des coupes d'os de 1 à 5 mm. d'épaisseur dans le plan choisi ;



FIGURE 9 : Microangiographie globale de l'extrémité supérieure de l'humérus chez un foetus à terme :

1. Pédicule du tuberculum minus
- 2 et 3. Pédicule antérieur (dédoublé) du tuberculum majus
4. Pédicule postéro-interne
5. Pédicule postérieur du tuberculum majus

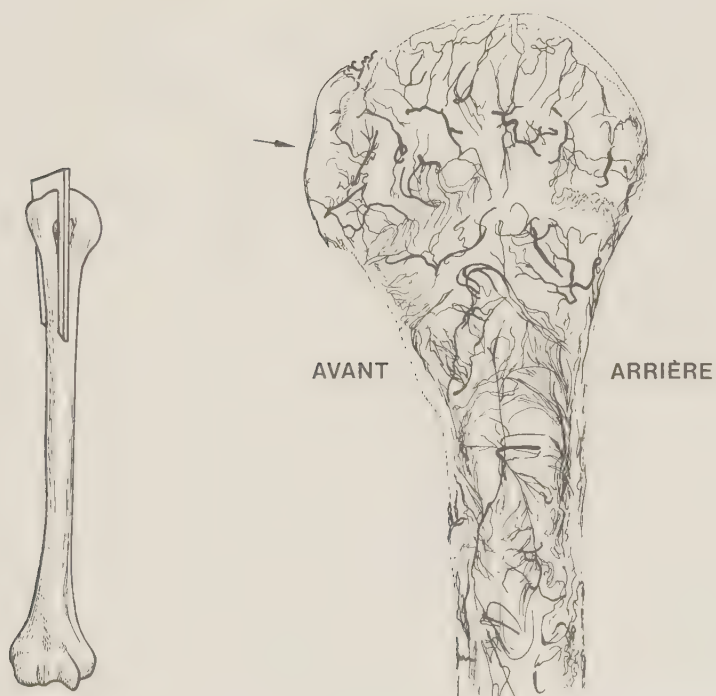


FIGURE 10 : Microangiographie d'une coupe sagittale de l'extrémité supérieure de l'humérus chez un adulte.
(la flèche indique l'insertion du subscapularis).

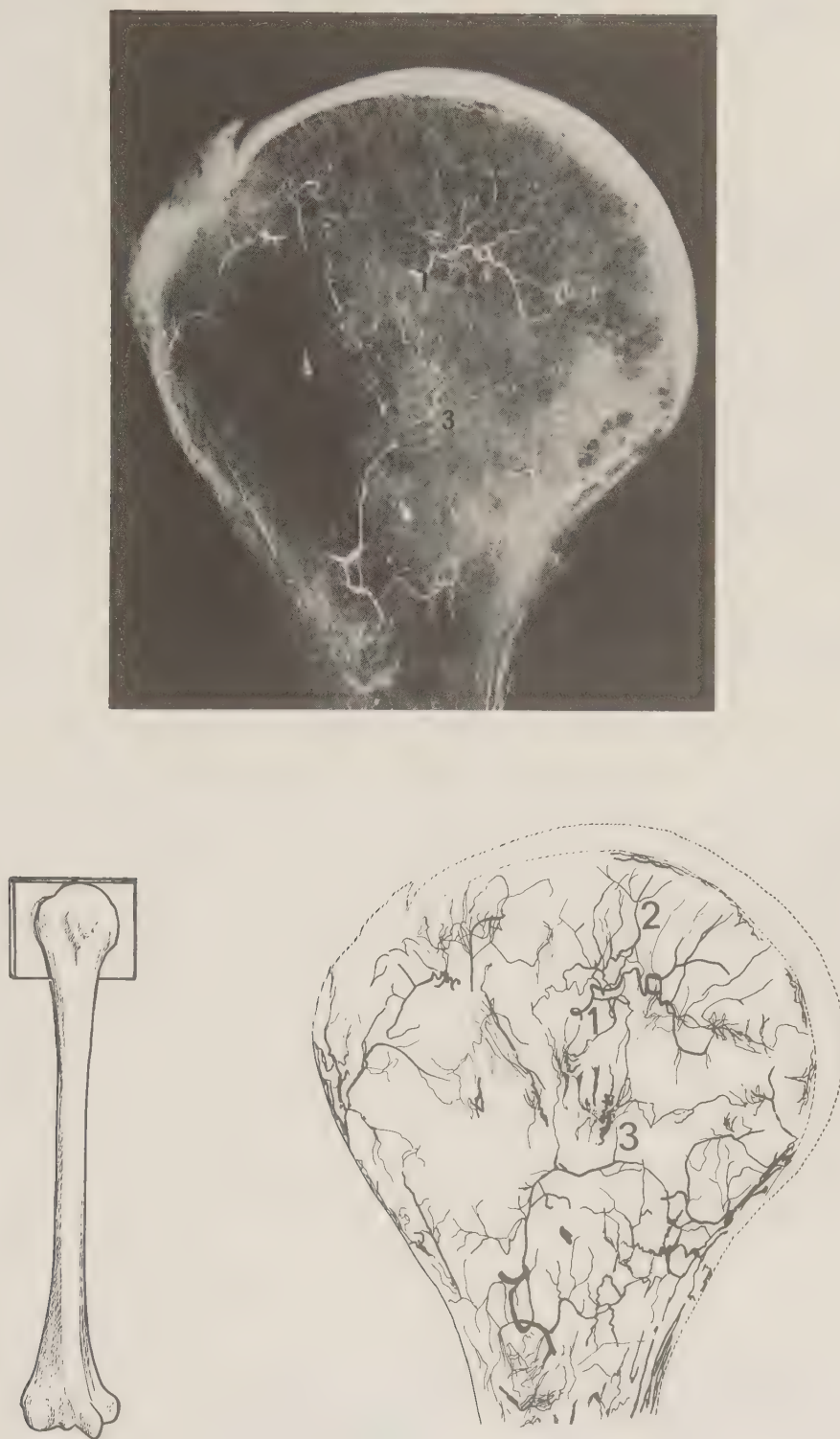


FIGURE 11 : Microangiographie d'une coupe frontale de l'extrémité supérieure de l'humérus chez un adulte :

1. Vaisseau principal épiphysaire en "arc boutant"
2. Ses collatérales pour la zone sous-chondrale
3. Anastomoses entre vaisseaux diaphysaires et vaisseaux épiphysaires.

celles-ci sont à nouveau fixées, décalcifiées à l'acide chlorhydrique puis radiographiées sous vide sur des émulsions au trait, dites de métallographie qui permettent d'obtenir une bonne définition.

Résultats : (Figures 9, 10, 11).

1) Les pédicules sont au nombre de quatre.

- deux antérieurs, issus de l'artère circonflexe antérieure (circumflexa humeri anterior) : le pédicule du trochin (tuberculum minus) et le pédicule antérieur du trochiter (tuberculum majus).
- deux postérieurs issus de l'artère circonflexe postérieure (circumflexa humeri posterior) : le pédicule postéro-interne et le pédicule du trochiter (tuberculum majus).

2) Les artères issues des pédicules pénètrent l'épiphyse et donnent plusieurs branches qui s'anastomosent entre elles pour former "des arcs boutants" à concavité inférieure, certains dans le plan frontal, d'autres dans le plan sagittal. De ces arcades anastomotiques naissent des branches ascendantes qui se dirigent de façon centrifuge vers la zone sous-chondrale de la tête humérale et des branches descendantes qui s'anastomosent avec les vaisseaux diaphysaires (ces anastomoses n'existent pas chez le fœtus et l'enfant du fait de l'existence du cartilage de conjugaison).

La vascularisation de la tête humérale est donc précaire : on conçoit que certaines fractures - luxations (en particulier postérieure) qui séparent la tête de ses pédicules nourriciers évoluent fréquemment vers la nécrose.

B — LA CAVITE GLENOÏDE (CAVITAS GLENOIDALIS) (Figure 12) : occupe l'angle externe de l'omoplate (scapula). De forme ovalaire son diamètre vertical est de 35 mm. en moyenne et son diamètre horizontal de 25 mm. A peine excavée, recouverte de cartilage hyalin, elle présente en son centre un petit tubercule glénoïdien. Elle est limitée par un bord saillant, interrompu en avant par l'échancrure glénoïdienne. Elle est surmontée par le tubercule sus-glénoïdien sur lequel se fixe le tendon du long biceps (biceps brachii-caput longum), alors qu'à sa partie inférieure le tubercule sous glénoïdien donne attache au tendon du long triceps (triceps brachii-caput longum).

La cavité glénoïde est réunie au reste de l'os par le col anatomique (collum anatomicum) situé en dehors de l'apophyse coracoïde (processus coracoideus) alors que le col chirurgical correspond à une ligne virtuelle qui part de l'échancrure coracoïdienne et se dirige vers le pilier externe.

L'orientation de la glène est intéressante à étudier car elle intervient dans la stabilité de l'articulation. Elle est fonction de l'orientation de l'omoplate sur le thorax et de son orientation par rapport au corps de l'omoplate.

1) Dans le plan horizontal :

a) le plan de l'omoplate forme un angle α avec le plan frontal du thorax (Figure 13). Pour HOVELACQUE cet angle α est de 40° alors qu'il est de 53° pour ROY-CAMILLE et de 30° pour FICK et STRASSER. GOUAZE l'a étudié in vivo sur 35 sujets : il note que cet angle varie de 30 à 80° avec une moyenne de 58° . Cet angle est variable avec la morphologie du sujet : c'est ainsi que dans les thorax larges l'angle varie de 30 à 50° alors que dans les thorax étroits des longilignes il varie de 50 à 80° .

b) l'orientation de la glène par rapport au plan de l'omoplate (Figure 14) a été bien étudiée par SAHA : il existe une rétroversion de $7^\circ 4'$ en moyenne de la glène chez 73,5 % d'individus, alors qu'on note une antéversion de 2° en moyenne chez 26,5 % des individus. Pour SAHA la rétroversion de la glène est un facteur de stabilité antérieure de l'articulation : il en veut pour preuve le fait que 80 % des malades qui présentent une luxation récidivante antérieure de l'épaule ont une antéversion de la glène. A l'inverse une rétroversion trop importante de la

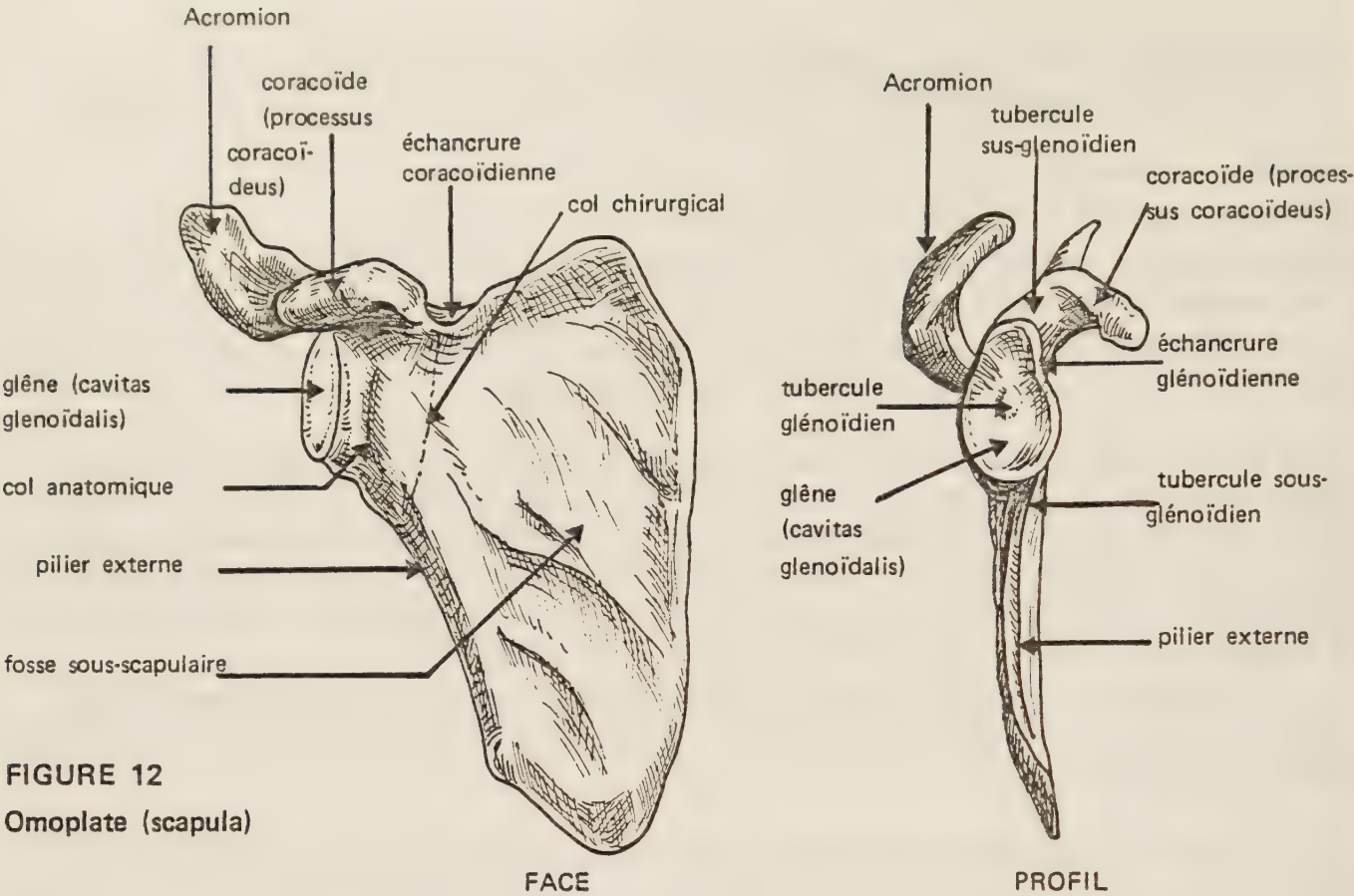


FIGURE 12
Omoplate (scapula)

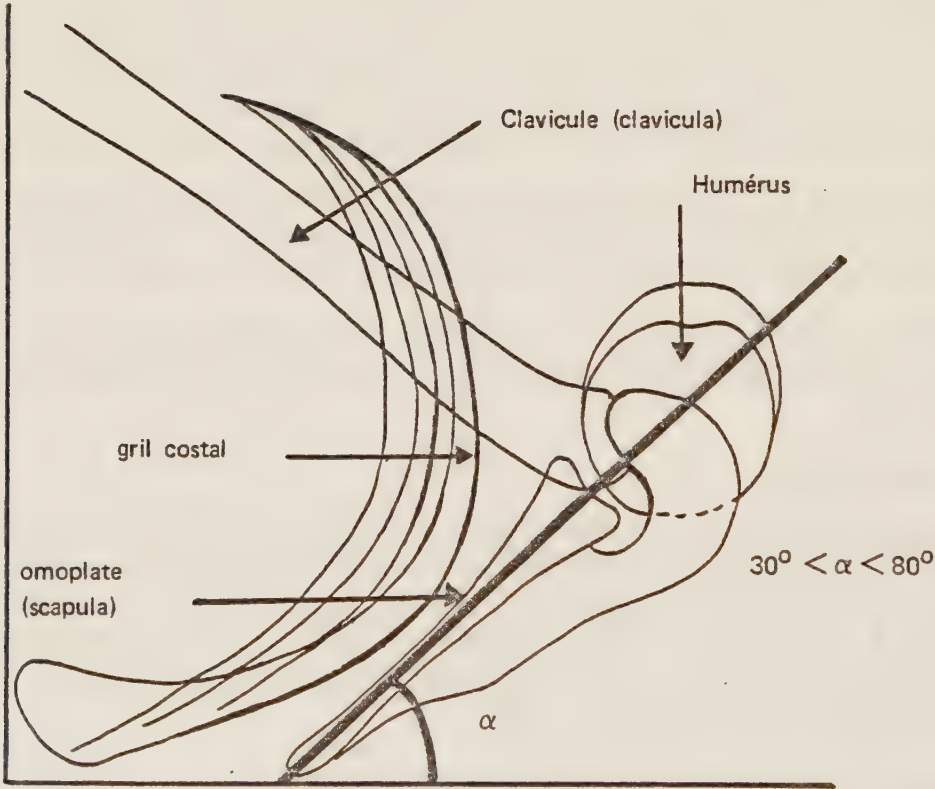


FIGURE 13
Orientation de l'omoplate par rapport au plan frontal

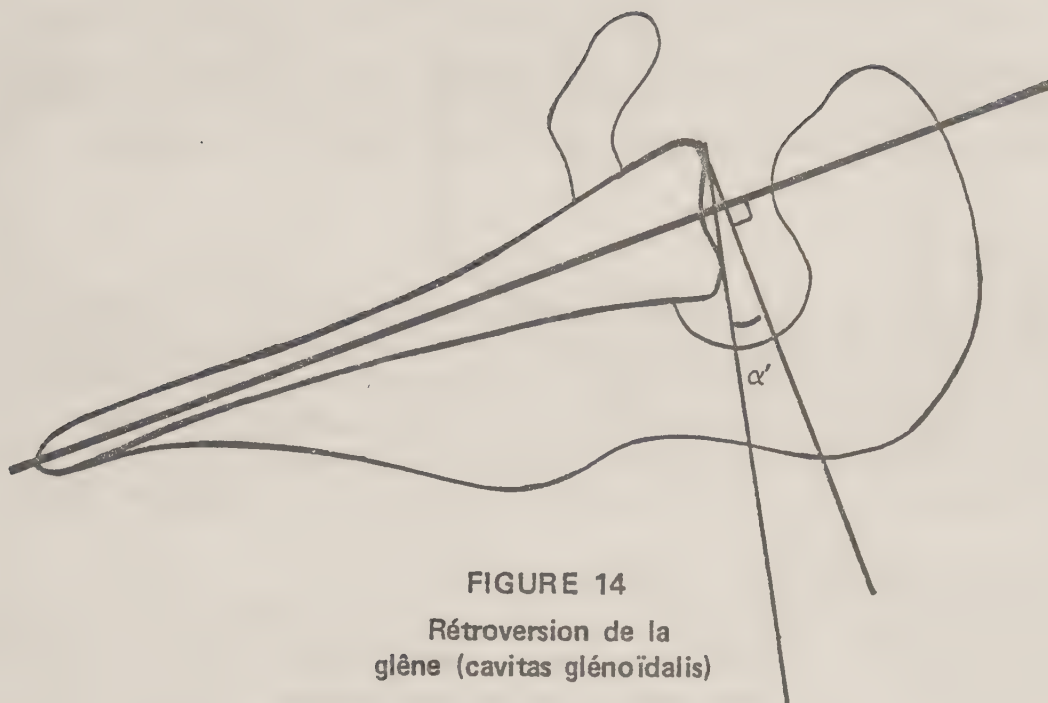


FIGURE 14
Rétroversion de la
glène (cavitas glénoïdalis)

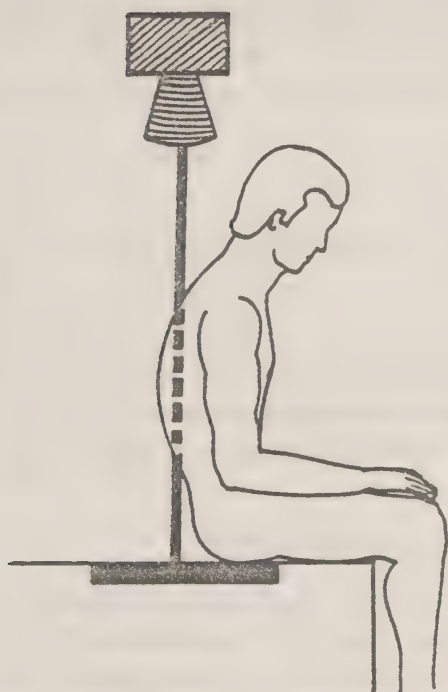


FIGURE 15
Etude radiologique de l'orientation de l'omoplate (scapula)
et de la glène (cavitas glenoïdalis)
dans le plan horizontal (d'après GOUAZE)

glène favoriserait la luxation récidivante postérieure que l'on peut traiter par une ostéotomie de "réorientation" du col de l'omoplate.

In vivo on peut étudier radiologiquement l'orientation de l'omoplate et de la glène dans le plan horizontal par la méthode décrite par GOUAZE (Figure 15) : le sujet est assis sur la cassette ; les mains reposent sur les cuisses ; les muscles de l'épaule sont au repos, dos légèrement cyphosé pour dégager l'omoplate, l'ampoule est placée en arrière et au dessus de la tête à 1m.30 de la plaque. Du fait de la cyphose il existe une source d'erreur de 5° dans le sens de la sagittalisation de l'omoplate.

2) Dans le plan vertical :

Il est classique de dire que la glène est orientée en haut et en dehors. En fait GOUAZE a bien montré que la glène (Figure 16) au repos : regarde vers le haut dans 45 % des cas seulement : elle fait alors avec la verticale un angle à sinus supérieur de 3° en moyenne avec des extrêmes de 1 et 10° ; elle est verticale dans 22 % des cas ; elle regarde vers le bas dans 33 % des cas : elle fait alors avec la verticale un angle à sinus inférieur de 4° avec des extrêmes de 1 et 12° . Elle présente d'autre part une inclinaison en haut et en dehors par rapport au corps de l'omoplate (Figure 17).

La Structure de la "zone glénoïdienne" de l'omoplate (Scapula) :

Nous l'avons étudiée personnellement sur 10 omoplates de cadavres frais afin de savoir si cette zone glénoïdienne pouvait être un site solide de fixation d'implants. Nous sommes arrivés aux mêmes constatations que DUROUX : cette zone présente une étonnante résistance : sous le cartilage articulaire de la glène se trouve un os sous-chondrale très dur. Au delà, la zone sous glénoïdienne se présente comme un "coquetier" aplati d'avant en arrière, de 3 à 4 cm. de profondeur rempli de tissu spongieux. Ses parois de 1 à 2 mm. sont très solides, elles représentent un appui utile pour la fixation des implants (Figure 18).

Vascularisation de la zone glénoïdienne :

Nous l'avons étudiée par microangiographie au MICROPAQUE* (la méthode a été décrite précédemment).

Elle est assurée entièrement par un riche réseau périosté antérieur et postérieur formé aux dépens des artères du cercle péri-scapulaire. De ces vaisseaux périostés naissent un grand nombre de branches artérielles qui pénètrent les faces antérieure et postérieure de ce massif glénoïdien. Leurs collatérales forment à l'intérieur de l'os un dense réseau anastomotique (Figure 19).

C – LE BOURRELET GLENOÏDIEN : (LABRUM GLENOÏDALE) :

Fibrocartilage qui s'insère sur le pourtour de la glène, le bourrelet glénoïdien l'agrandit. Prismatique, triangulaire à la coupe il présente à décrire trois faces : postérieure qui répond à la circonférence de la glène, interne ou intérieure, externe ou extérieure. Il passe en pont au dessus de l'échancrure glénoïdienne ménageant ainsi un orifice souvent remplacé par une simple dépression. Il est renforcé en haut par des fibres du long biceps (biceps brachii) et en bas par des fibres du long triceps (triceps brachii).

Bien qu'agrandie par le bourrelet glénoïdien la glène de l'omoplate reste beaucoup plus petite que la tête humérale : il existe donc une incongruence articulaire.

LA CONGRUENCE ARTICULAIRE :

Plusieurs auteurs se sont intéressés au problème en essayant de l'apprécier radiologiquement in vivo par différents paramètres. Il est en effet important de la connaître car elle représente un facteur de stabilité.

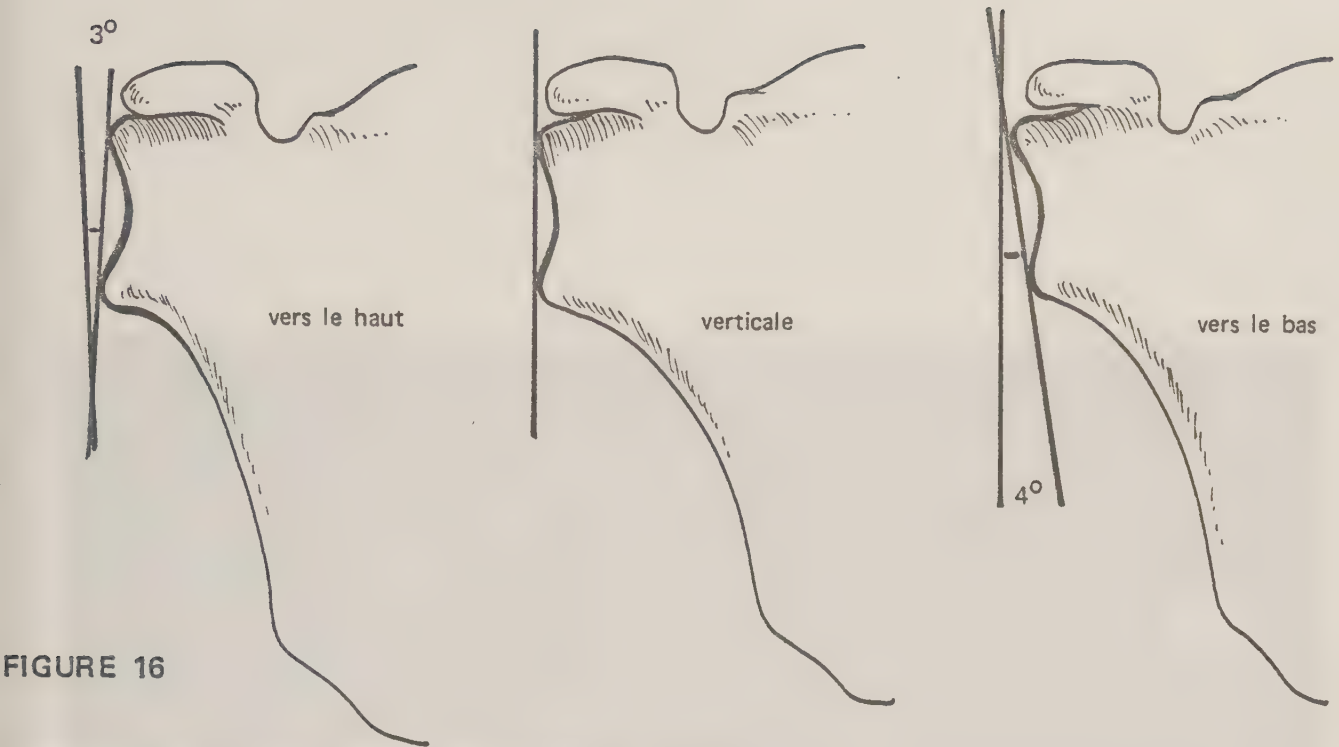


FIGURE 16

Orientation de la glène (cavitas glenoïdalis) sur la verticale

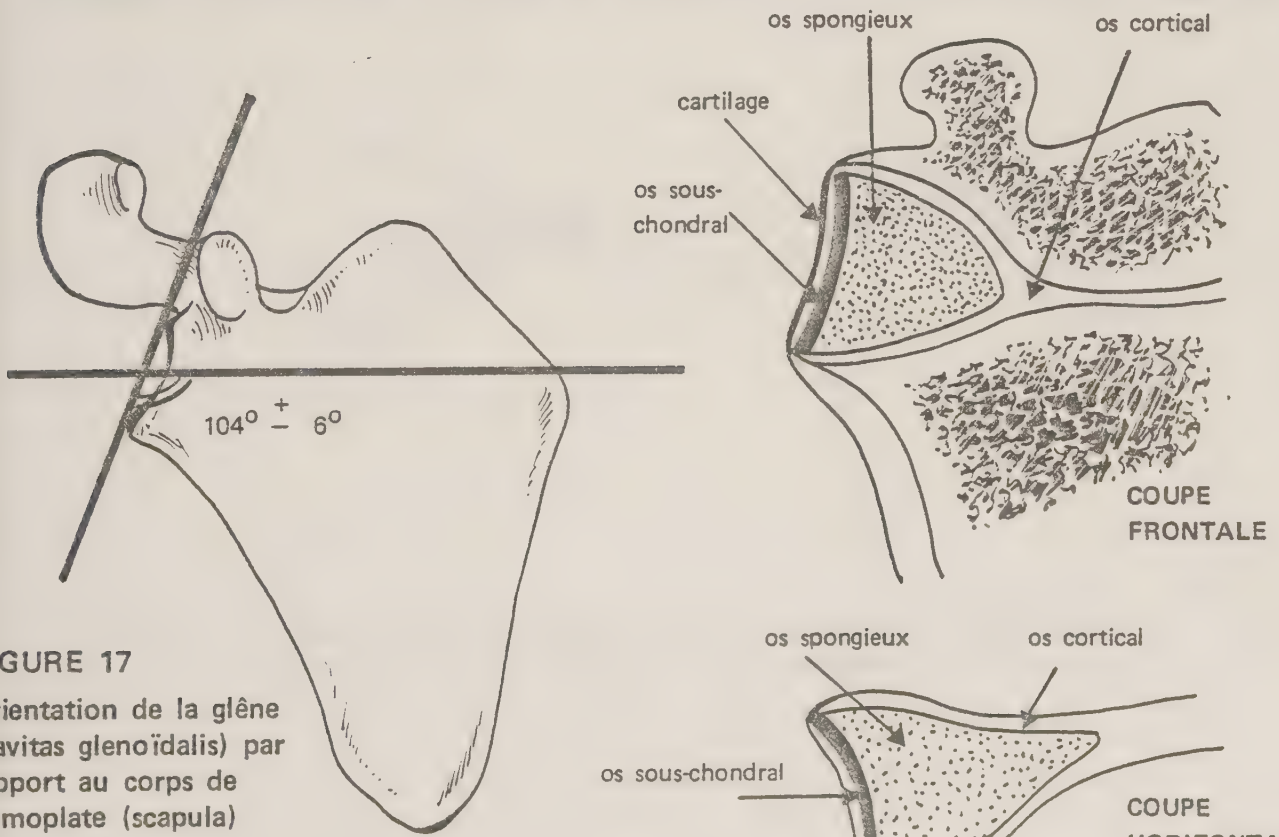


FIGURE 17

Orientation de la glène (cavitas glenoïdalis) par rapport au corps de l'omoplate (scapula)

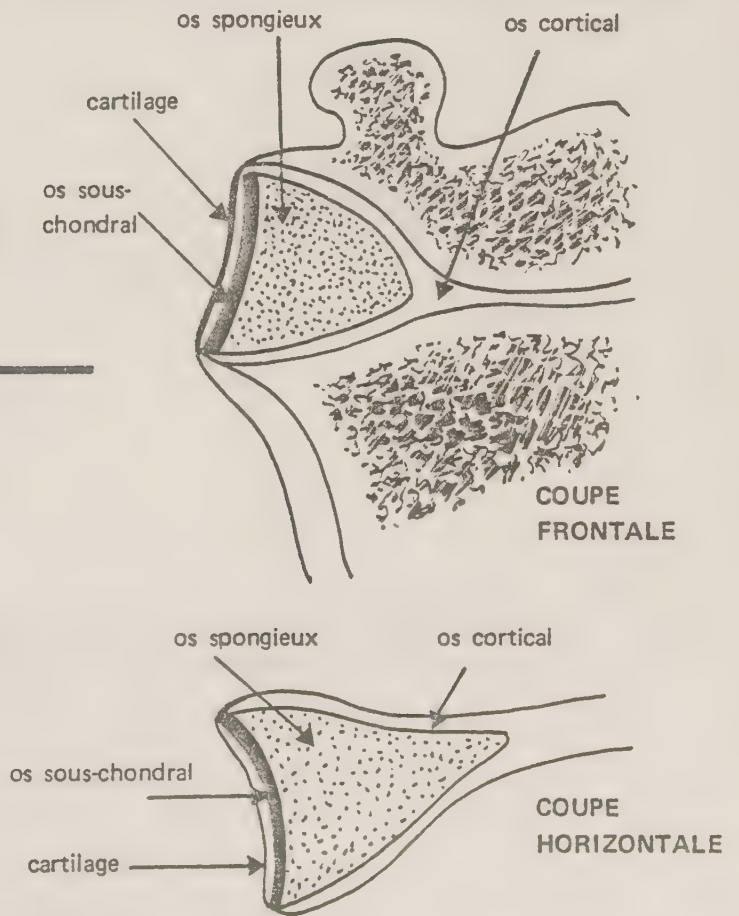


FIGURE 18

Structure de la zone glénoïdienne de l'omoplate (scapula)

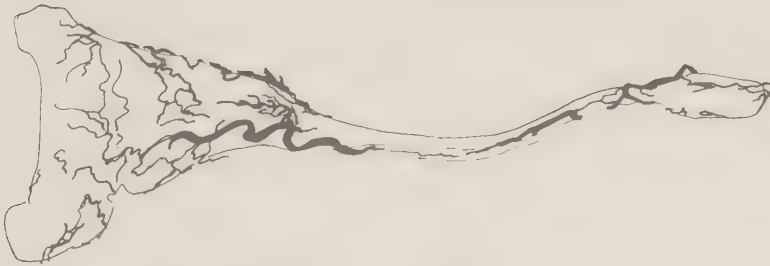
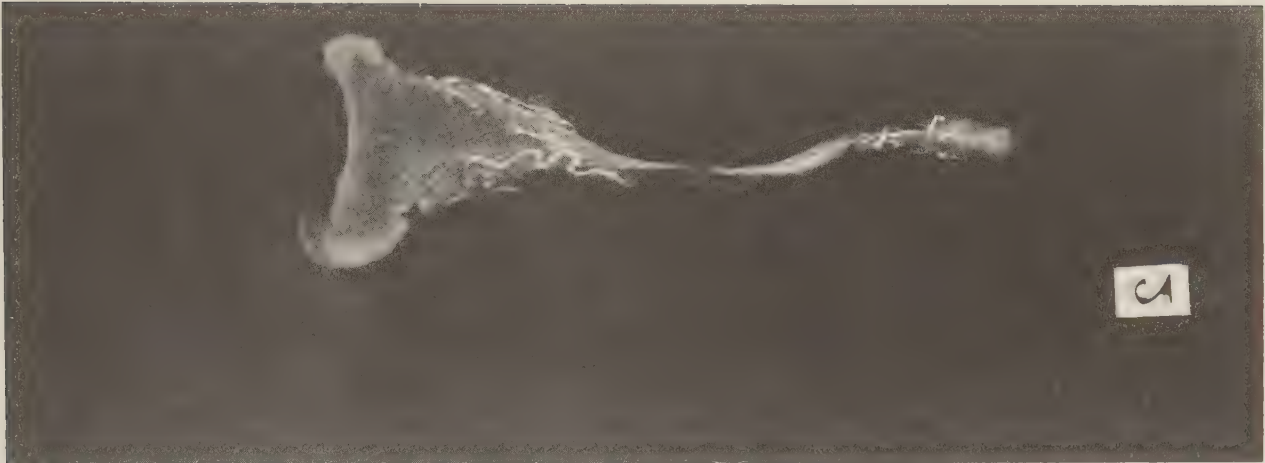


FIGURE 19 : Microangiographie d'une coupe horizontale passant par la glène (cavitas glenoïdalis) de l'omoplate (scapula) chez l'homme.

1 - L'index glénohuméral : (Figure 20) représente le rapport entre le diamètre maximum de la glène sur le diamètre maximum de la tête humérale. On peut le calculer sur une radiographie de face (c'est l'index vertical) ou sur une radiographie de profil (c'est l'index horizontal)

- l'index vertical est de $0,777 \pm 0,064$ pour PIZON, $0,753 \pm 0,039$ pour SAHA
- l'index horizontal est de $0,576 \pm 0,058$ pour SAHA.

Ainsi une diminution de cet index (surtout l'index horizontal) est un facteur favorisant d'instabilité.

2 - Les surfaces humérales et glénoïdiennes : PIZON a calculé le rapport entre la surface de la tête humérale et la surface de la glène : la surface de la tête humérale correspond à $406 \% \pm 45 \%$ de celle de la glène. Les calculs sont cependant complexes et il semble plus facile d'utiliser l'index glénohuméral pour apprécier la congruence articulaire.

LE CONTACT ARTICULAIRE :

Il est intéressant de préciser comment se fait le contact entre la tête humérale (caput humeri) et la glène (cavitas glenoidalis) si l'on veut connaître les contraintes qui s'exercent au niveau des surfaces articulaires. Personne ne semble avoir pu l'étudier in vivo et toutes les études ont été réalisées sur le cadavre. Il existe plusieurs méthodes :

- Mesure par sphéromètre des rayons de courbure, d'interprétation difficile.
- Injection intra-articulaire d'un matériau liquide à prise rapide.
- Mesure de pressions unitaires par palpeurs mécaniques ou électriques d'emploi très difficile.
- Méthode des empreintes peut-être grossières mais facilement réalisables.

TESTUT et LATARJET considèrent que la tête humérale s'adapte exactement à la glène et qu'il y aurait donc un contact total entre les deux surfaces articulaires. Il semble en fait que le contact ne soit que partiel comme l'ont montré CASTAING et SAHA. Ce contact se fait selon trois modalités (Figure 21) :

- Soit contact en forme d'anneau périphérique étroit (60 % des cas pour CASTAING)
- Soit contact aréolaire large mais irrégulier (30 % des cas)
- Soit contact central (10 % des cas).

Au cours de l'abduction, les contacts articulaires se déplacent non pas tant sur la glène que sur la tête humérale (Figure 22)

II — LA CAPSULE ARTICULAIRE

C'est un manchon fibreux de la forme d'un cône tronqué à base humérale. Elle s'insère :

Du côté scapulaire sur le pourtour de la glène (cavitas glenoidalis) et la face externe du bourrelet (labium glenoidale).

Elle englobe en haut le tendon du long biceps (caput longum du biceps brachii) alors qu'en bas elle adhère au tendon du long triceps (caput longum du triceps brachii) mais le laisse extra-articulaire.

Du côté huméral elle s'insère en avant sur le bord externe du col anatomique, en arrière à 10 mm. du cartilage articulaire en bas elle descend jusqu'au col chirurgical.

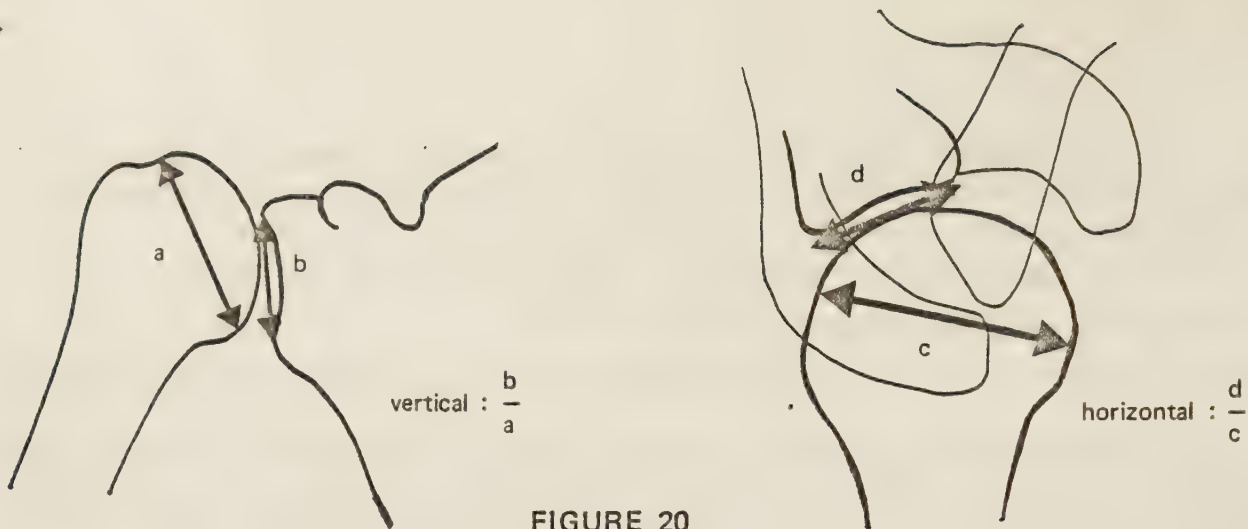


FIGURE 20
Index gléno-huméral

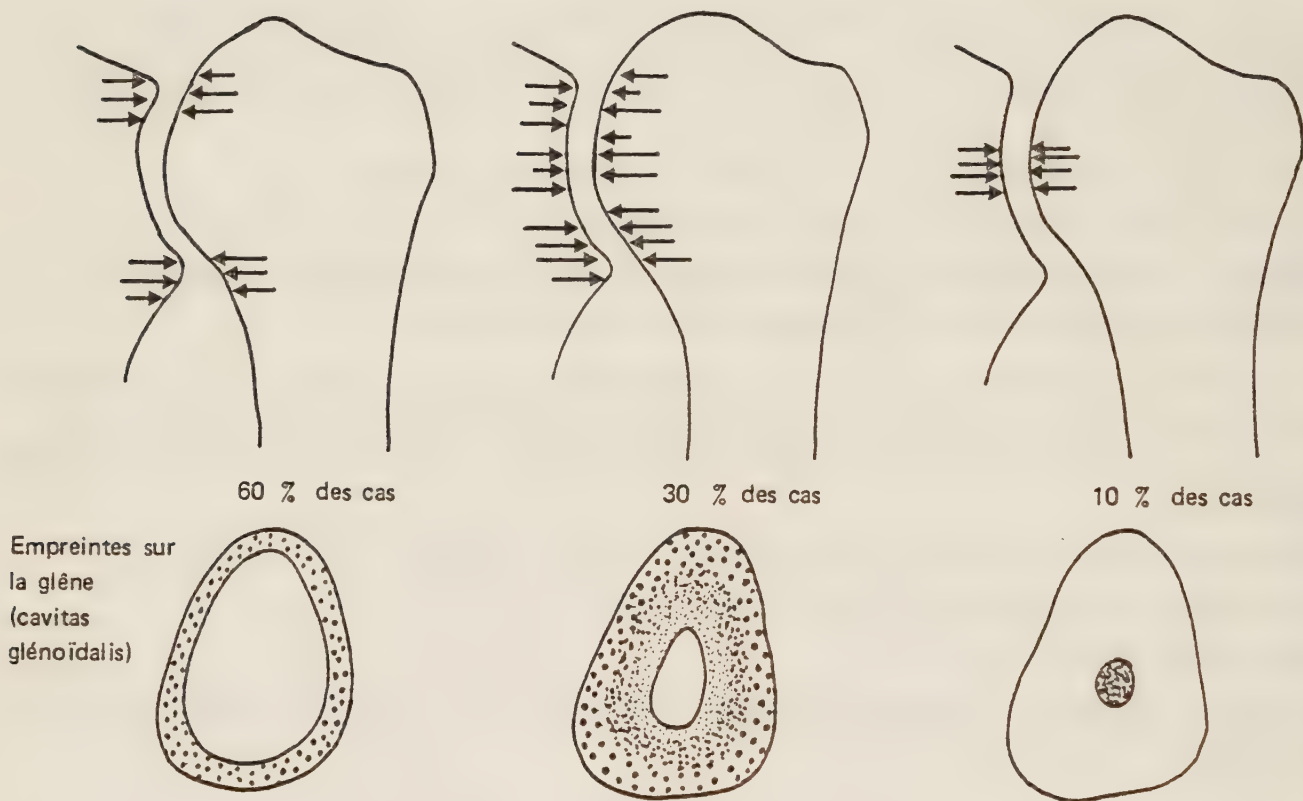


FIGURE 21
Contact tête-glène

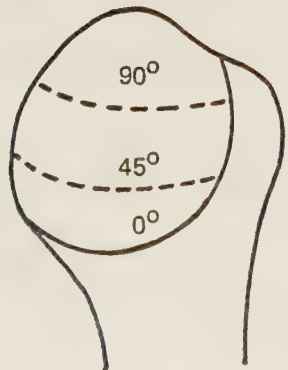


FIGURE 22
Déplacement de la zone de contact sur la tête humérale

Avec A. MORIN et J.F. SCHUHL nous avons étudié la vascularisation artérielle de la capsule :

Matériel et Méthode :

Après injection d'ALTULITE dans l'artère axillaire (axillaris) nous avons disséqué 7 épaules.

Résultats : (Figure 23)

- 1) La face antérieure de la capsule est parcourue de fines artères horizontales qui viennent de la branche externe de l'acromiothoracique (thoracoacromialis). Le recessus capsulaire inférieur est très vascularisé. Il reçoit en outre un pédicule vertical issu de la circonflexe antérieure (circumflexa humeri anterior).
- 2) Sur la face supérieure existent de nombreux vaisseaux issus de l'artère scapulaire supérieure (A. suprascapularis) et des artères circonflexes (arteriae circumflexae humeri).
- 3) La face postérieure reçoit des artères horizontales issues de la scapulaire supérieure (suprascapularis) et verticales de la circonflexe postérieure (circumflexa humeri posterior).

Il semble donc exister deux types de vascularisation : des vaisseaux horizontaux qui vascularisent surtout la partie interne de la capsule et des vaisseaux verticaux qui vascularisent plutôt sa partie externe.

III – LES LIGAMENTS (Figure 24)

1) Le ligament coraco-huméral (coracohumérale) :

Lame fibreuse, large et épaisse, ce ligament se fixe en dedans sur le bord externe de l'apophyse coracoïde (parocessus coracoideus) en dehors sur le trochiter (tuberculum majus). Situé au-dessus de l'articulation il forme un véritable ligament suspenseur de la tête humérale. La signification morphologique de ce ligament est bien connue : il correspond au vestige du tendon d'insertion du muscle petit pectoral (pectoralis minor) sur le trochiter chez un grand nombre de mammifères notamment les singes inférieurs.

2) Les ligaments gléno-huméraux (glenohumeralia) :

Situés en avant de l'articulation, ce ne sont que de simples renforcements de la capsule.

◆ Le ligament gléno-huméral supérieur :

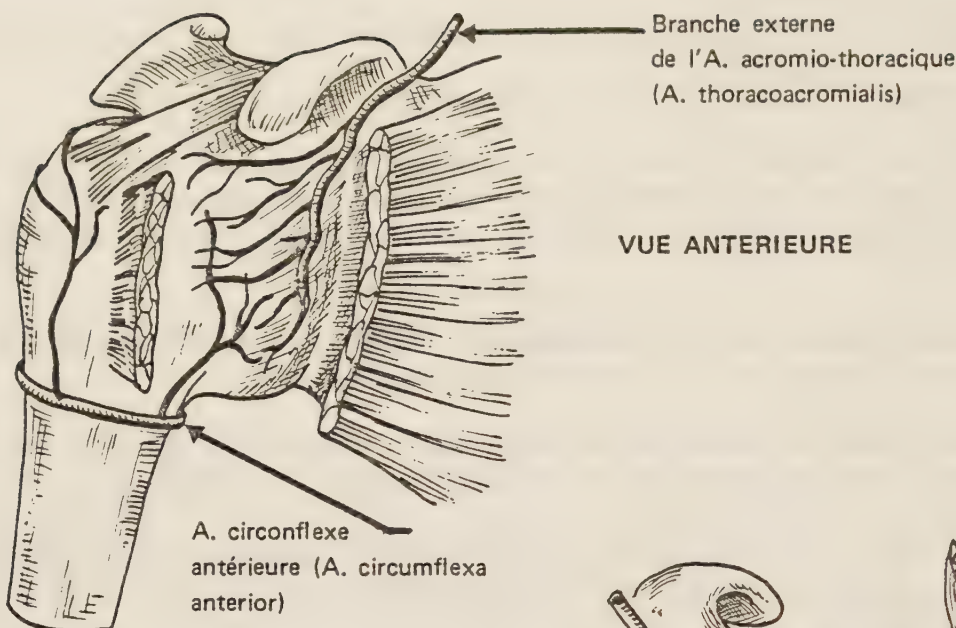
tendu transversalement du pôle supérieur de la glène à la partie supérieure du col anatomique de l'humérus. Il est relié au ligament coracohuméral par des fibres transversales qui passent au-dessus du tendon du long biceps (biceps brachii, caput longum) et qui se poursuivent en bas tendues entre les deux lèvres de la gouttière bicipitale formant le ligament huméral transverse de GORDON-BRODIE.

◆ Le ligament gléno-huméral moyen :

oblique en bas et en dehors il est tendu du pôle supérieur de la glène (en dessous du précédent) au trochin (tuberculum majus).

◆ Le ligament gléno-huméral inférieur :

le plus long, le plus large, le plus fort ; oblique en bas et en dehors il se porte du bord antéro-inférieur de la glène au bord interne du col chirurgical de l'humérus.



VUE ANTERIEURE

VUE POSTERIEURE

A. scapulaire
supérieure
(A. suprascapularis)

A. circonflexe posté-
rieure (A. circum-
flexa posterior)



FIGURE 23
Vascularisation artérielle
de la capsule articulaire

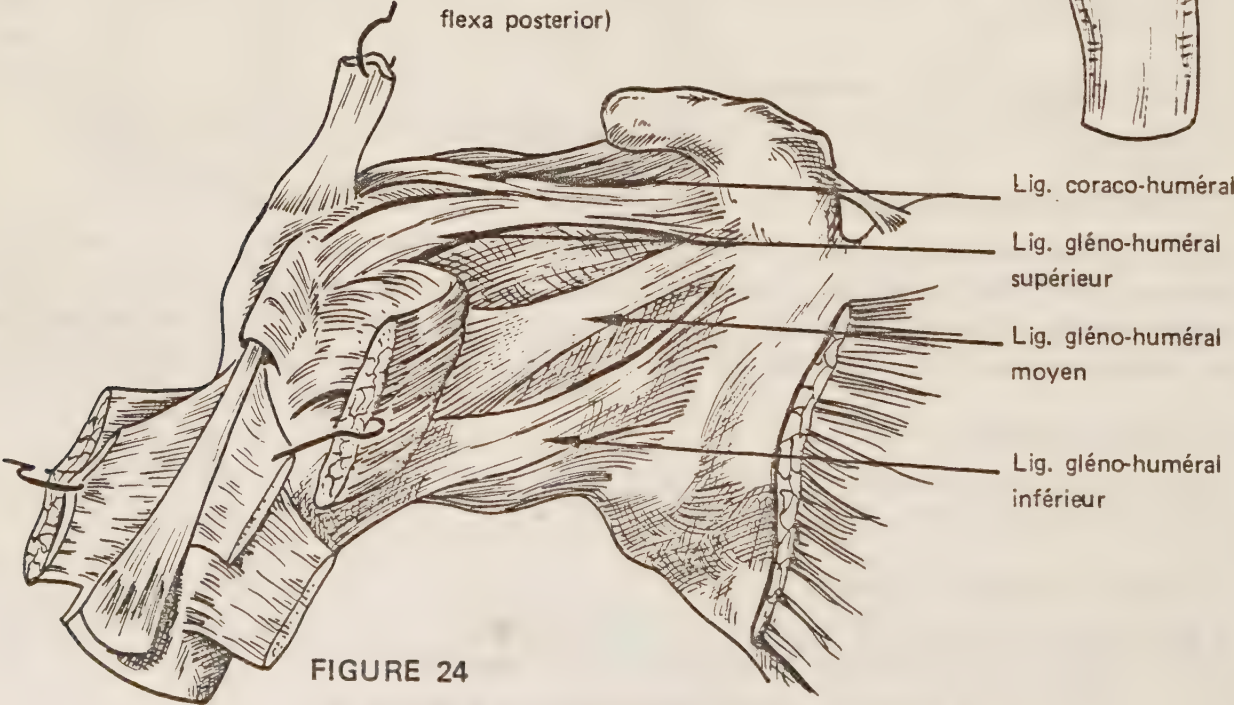


FIGURE 24
Les ligaments de l'articulation scapulo-humérale (A. humeri)
Vue antérieure

Entre ces ligaments se trouvent des points faibles de la capsule :

- le foramen ovale de WEITBRECHT entre le ligament gléno-huméral supérieur et le ligament gléno-huméral moyen.
- le foramen de ROUVIERE entre le ligament gléno-huméral moyen et le ligament gléno-huméral inférieur.

IV – LA SYNOVIALE

tapisse la face profonde de la capsule et se réfléchit jusqu'aux rebords cartilagineux des surfaces articulaires. A la partie interne du col chirurgical elle est soulevée par des fibres récurrentes capsulaires (les "freins" de la capsule)

La synoviale émet à l'extérieur de l'article des prolongements qui forment des bourses séreuses bien étudiées par les anatomistes (POIRIER, ROUVIERE, PATURET, LANDSMEER). Nous nous sommes intéressés à leur étude avec L. FISCHER et J.F. SCHUHL sur 12 épaules de cadavres (après injection de paraffine colorée) et sur 12 arthrographies d'épaules "normales". Il en existe plusieurs mais on peut retenir les plus importantes :

1 - La bourse du coraco-biceps inconstante située entre le sous scapulaire (subscapularis) en arrière et le coraco-brachial (coraco-brachialis) et le court-biceps (biceps brachii-caput breve) en avant.

2 - La bourse du sous scapulaire (subscapularis) située entre la face profonde du tendon du sous scapulaire en avant et le col de l'omoplate et la capsule articulaire en arrière, elle communique avec l'articulation par le foramen ovale et peut s'étendre jusque dans la fosse sous-scapulaire.

3 - La bourse sous coracoïdienne entre la base de l'apophyse coracoïde (processus coracoideus) et le bord supérieur du sous scapulaire. Elle communique fréquemment avec l'articulation par le foramen de ROUVIERE.

Ces deux bourses séreuses communiquent souvent entre elles en avant du ligament gléno-huméral moyen qui se trouve ainsi complètement entouré par la synoviale. Par ailleurs elles constituent un plan de glissement important entre la face postérieure du sous scapulaire et la face antérieure de la capsule.

4 - La bourse séreuse bicipitale entoure le tendon de la longue portion du biceps dans la coulisse bicipitale.

Nous parlerons plus loin de la bourse sous-acromio-deltoïdienne.

2 – L'ARTICULATION STERNO-CLAVICULAIRE (A. STERNO CLAVICULARIS).

C'est une diarthrose par double emboîtement réciproque qui réunit l'extrémité interne de la clavicule au sternum et au premier cartilage costal. (Figure 25).

1 – SURFACES ARTICULAIRES.

1- En dedans, il existe une *facette sternale* et une *facette costale*.

- La *facette sternale* (incisura clavicularis) : ovale à grand axe transversal, elle est située sur le côté de la fourchette sternale (incisura jugularis) ; elle regarde en haut, en dehors et en arrière. Elle mesure en moyenne 18 à 20 mm. dans le sens transversal, 14 à 15 mm. dans le sens sagittal.
- La *facette costale* : de forme triangulaire, elle est située sur la partie interne et supérieure du cartilage costal. Quand le cartilage est soudé au sternum les deux facettes se confondent sans

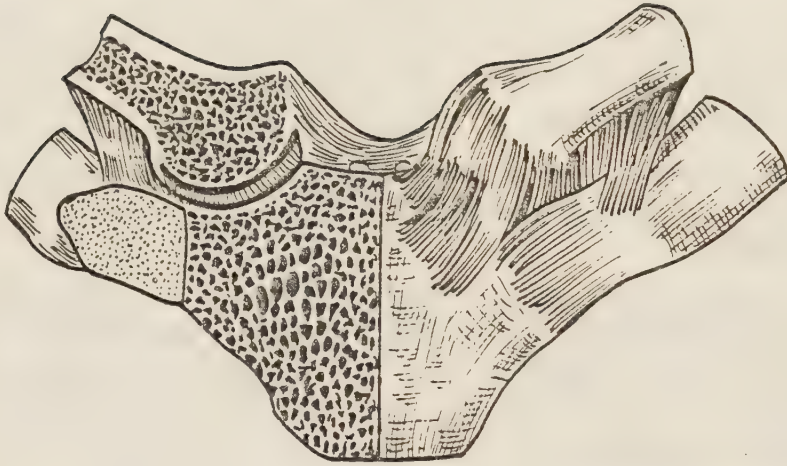


FIGURE 25

Articulation sterno-claviculaire
(A. sternoclavicularis)

ligne de démarcation ; quand le cartilage est uni au sternum par une véritable diarthrose, elles sont séparées par un interligne articulaire oblique en arrière et en dedans.

2- En dehors : l'extrémité interne de la clavicule concave sagittalement, convexe de haut en bas regarde en bas en avant et en dedans. Elle présente deux facettes :

- L'une verticale allongée d'avant en arrière elle répond à la facette sternale ; elle mesure en moyenne 18 mm. de long, 14 mm. de haut.
- L'autre horizontale, plane elle se continue avec la précédente en formant avec elle un angle de 85 à 95°. Elle répond à la facette claviculaire.

Dans l'ensemble les deux surfaces articulaires ne se correspondent pas parfaitement : la clavicule déborde légèrement le sternum à la fois en avant et en arrière.

3- Le fibro-cartilage inter-articulaire (discus articularis) : A la forme d'un disque irrégulier obliquement dirigé en bas et en dehors. Il se fixe par sa circonférence au pourtour de l'article : en avant et en arrière à l'appareil capsulo-ligamentaire antérieur et postérieur, en haut au ligament supérieur et au bord supérieur de la surface claviculaire, en bas sur le cartilage costal à l'endroit où il prend contact avec la facette sternale. Il présente donc deux faces l'une supéro-externe concave, l'autre inféro-interne convexe. Ce ménisque est parfois percé d'un trou. Il subdivise l'articulation en deux portions : l'une étroite et serrée ménisco-sternale, l'autre lâche et étendue ménisco-claviculaire. Pour de PALMA il représente un véritable ligament intra-articulaire qui intervient dans la stabilité de l'articulation.

II – MOYENS D'UNION.

La capsule articulaire qui unit sternum, premier cartilage costal et clavicule est renforcée par quatre ligaments :

1- Le ligament sterno-claviculaire antérieur (sternoclaviculare antierius) : tendu obliquement en haut et en dehors du manubrium à la clavicule.

2- Le ligament sterno-claviculaire postérieur (sternoclaviculare posterius) : analogue au précédent mais plus épais et plus puissant.

3- Le ligament costo-claviculaire (costoclaviculare) : très court, très résistant il unit la face inférieure de la clavicule au premier cartilage costal. Il est divisé en deux plans par une bourse séreuse : l'un antérieur formé de fibres obliques, l'autre postérieur formé de fibres verticales plus courtes. Pour de PALMA ce ligament représente la formation extra-articulaire la plus importante pour la stabilité de l'articulation.

4- Le ligament supérieur : est formé de deux types de fibres : les unes courtes vont de la clavicule au sternum : c'est le ligament sterno-claviculaire supérieur proprement dit ; les autres plus longues unissent les deux clavicules en comblant la fourchette sternale (incisura jugularis) : c'est le ligament interclaviculaire (interclaviculare).

3 – L'ARTICULATION ACROMIO-CLAVICULAIRE (A. ACROMIOCLAVICULARIS).

C'est une arthrodièdre, articulation à surfaces planes, qui solidarise les deux os de la ceinture scapulaire : clavicule (clavicula) et omoplate (scapula) (Figure 26)

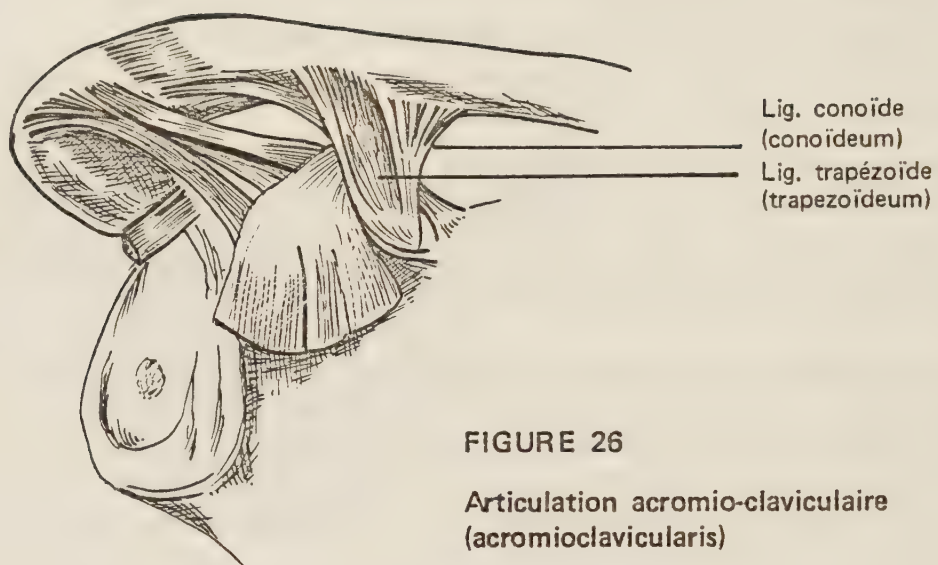


FIGURE 26

Articulation acromio-claviculaire
(acromioclavicularis)

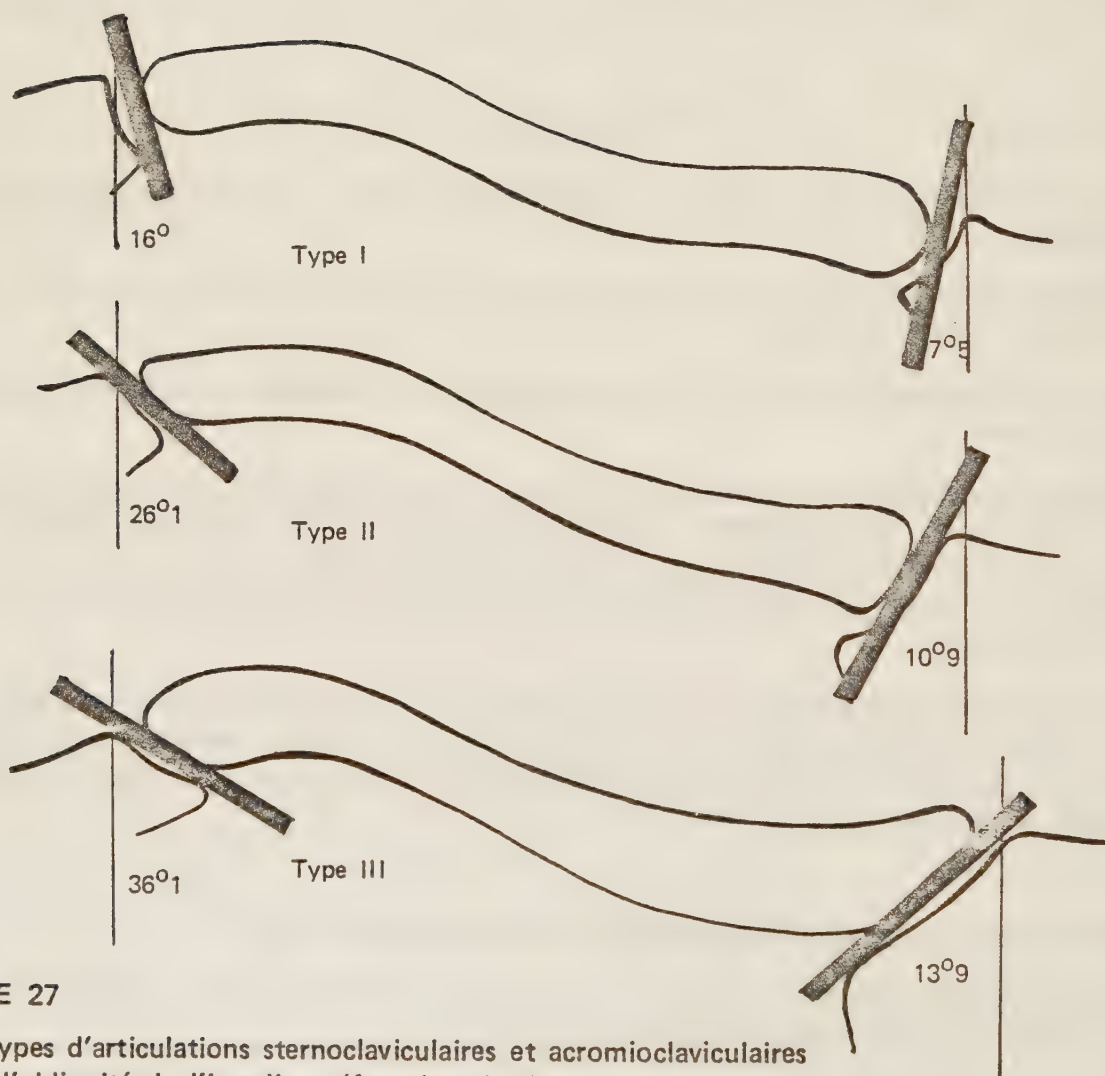


FIGURE 27

Les 3 types d'articulations sternoclaviculaires et acromioclaviculaires suivant l'obliquité de l'interligne (fonction de l'importance de la torsion antérieure de la clavicule) (d'après DE PALMA).

I – SURFACES ARTICULAIRES.

1. **La surface claviculaire** : située sur l'extrémité externe de la clavicule est plane, allongée d'avant en arrière ; elle regarde en dehors et un peu en bas.

2. **La surface acromiale** : taillée en biseau occupe la partie la plus antérieure du bord interne de l'os ; elle regarde en dedans et un peu en haut. De PALMA a bien montré que l'importance de la torsion antérieure de la clavicule est variable suivant les individus et que celle-ci détermine une inclinaison variable de l'interligne articulaire acromio-claviculaire et aussi sterno-claviculaire ; il distingue ainsi trois types d'articulations (Figure 27) : I, II, III.

3. **Le fibro-cartilage interarticulaire** : les deux facettes articulaires sont dans certains cas séparés par un fibro-cartilage dont la structure et la disposition rappellent celles des ménisques interarticulaires. Celui-ci est de forme variable (TESTUT en distingue 8 types) et inconstant : TESTUT l'a retrouvé 8 fois sur 23 ; pour de PALMA il existe sous la forme d'un disque complet dans 9 % des cas alors que dans 81 % des cas il est absent ou partiel.

II – MOYENS D'UNION.

1. **La capsule articulaire** épaisse mais lâche est tapissée en dedans par une synoviale.

2. Les ligaments :

a) **Les ligaments acromio-claviculaires** : inférieur parfois absent et supérieur formé de fibres obliques en dehors et en arrière,

b) **Les ligaments coraco-claviculaires** : sont plus importants :

Le ligament trapézoïde (trapezoïdum) : lame quadrilatère sagittale oblique en haut et en dehors, s'attache en bas sur la partie postéro-supérieure de la coracoïde (processus coracoideus), en haut sur la face inférieure de la clavicule.

Le ligament conoïde (conoïdeus) : lame triangulaire frontale, s'attache en bas sur la base de la coracoïde, en haut sur le tubercule conoïde à la face inférieure de la clavicule. Il est postérieur au ligament trapézoïde.

Le ligament coraco-claviculaire interne : trousseau fibreux mince, il se détache de la face supérieure de la coracoïde et se dirige obliquement en haut et en dedans sur la lèvre antérieure de la gouttière du sous-clavier (subclavius).

3. La "chappe delto-trapézienne" :

C'est à notre avis un élément important dans la contention des surfaces articulaires. Elle est formée par l'aponévrose du trapèze (trapezius) prolongée par celle du deltoïde (deltoideus) ; elle passe en pont au-dessus de l'articulation, adhérant aux formations capsuloligamentaires supérieures. Sa réparation est essentielle dans le traitement des luxations acromio-claviculaires graves.

4 – L'ARTICULATION SCAPULO-THORACIQUE.

C'est en fait une syssarcose qui fait glisser l'omoplate sur la face postéro-latérale du thorax. On peut la diviser en deux espaces de glissement (Figure 28).

1. **L'espace inter-serrato-thoracique** : le plus important est situé entre en dedans et en avant la face superficielle du plan costal et intercostal en arrière et en dehors le grand dentelé (serratus

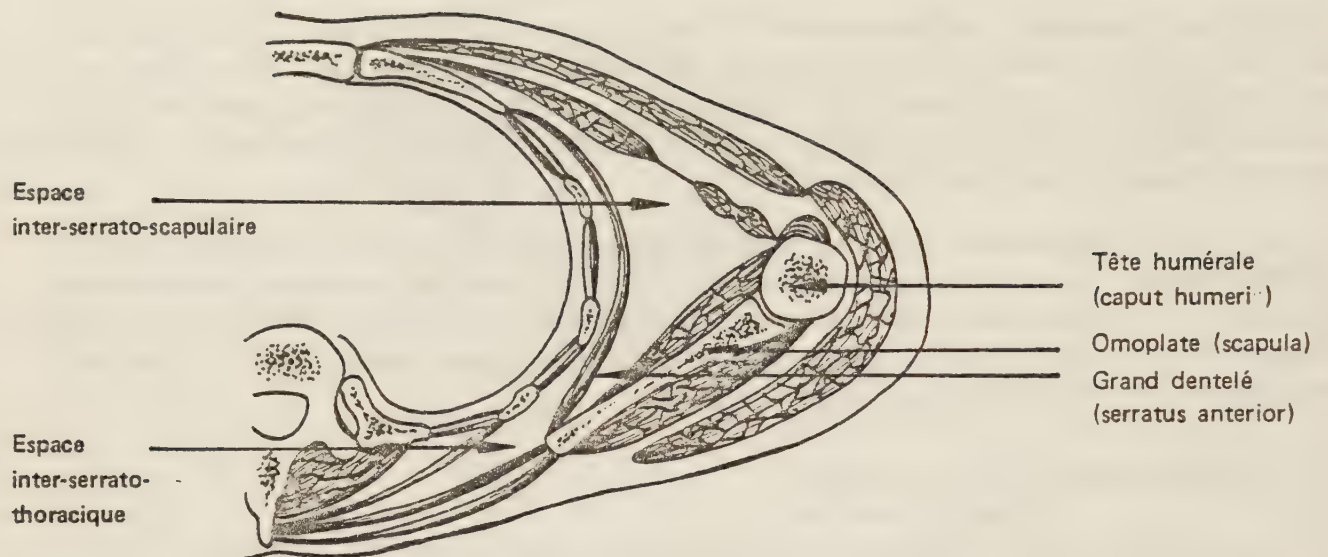


FIGURE 28

Articulation scapulo-thoracique
Coupe horizontale

anterior) et le rhomboïde (rhomboideus). Il est limité en avant par les insertions du grand dentelé sur les côtes, en arrière par celle du rhomboïde sur les épineuses (processus spinosus).

2. L'espace inter-serrato-scapulaire est situé entre la face postérieure du grand dentelé (serratus magnus) et la face antérieure de l'omoplate (scapula) tapissée par le sous-scapulaire (subscapularis). Il est limité en arrière par les insertions du grand dentelé sur le bord spinal de l'omoplate alors qu'en avant il s'ouvre sur le creux axillaire dont il n'est qu'un prolongement postérieur.

5 – L'ARTICULATION SOUS-ACROMIALE.

C'est l'une des articulations les plus importantes du complexe articulaire de l'épaule ; pour ne pas dire l'articulation la plus importante. Cette notion a déjà été mentionnée par de SEZE qui parle de "la deuxième articulation de l'épaule". Elle oppose la voûte coraco-acromiale à l'extrémité supérieure de l'humérus coiffé des rotateurs, par l'intermédiaire d'une synoviale : la bourse séreuse sous acromio-delhoïdienne.

1. La voûte coraco-acromiale (Figure 29) est formée par en avant la coracoïde (processus coracoideus), en arrière l'acromion volumineuse apophyse qui prolonge en dehors l'épine de l'omoplate (spina scapulae) et qui surplombe l'articulation scapulo-humérale (A. humeri). Sa face inférieure regarde en bas, en avant et légèrement en dehors. Entre les deux le ligament acromio-coracoïdien (coraco-acromiale) : bandelette fibreuse triangulaire, il s'insère en dedans sur le bord externe de la coracoïde (à ce niveau il est parfois dédoublé en deux faisceaux, l'un antérieur, l'autre postérieur), en dehors sur l'extrémité antérieure de l'acromion immédiatement en avant de l'articulation acromio-claviculaire (acromioclavicularis). Le deltoïde (deltoideus) se fixe en haut sur la voûte acromio-claviculaire, il recouvre l'articulation.

2. L'extrémité supérieure de l'humérus (Figure 30) que nous avons étudiée précédemment est coiffée par les "courts" rotateurs de l'épaule : en avant le sous-scapulaire (subscapularis), en arrière le sous-épineux (infraspinatus) et le petit rond (teres minor), en haut le sus-épineux (supraspinatus)

3. La bourse sous acromio delhoïdienne (Figure 31) est située entre les deux entités anatomiques précédentes. Il est classique de dire que lorsqu'elle communique avec l'articulation il existe une rupture de la coiffe des rotateurs : c'est bien sûr exact et c'est d'ailleurs un des signes arthrographiques de cette lésion ; mais sur deux cadavres (sur douze) dont nous avons injecté l'articulation à la paraffine il existait une communication entre la bourse et l'articulation sans atteinte des rotateurs qui ont été soigneusement disséqués . Pour POIRIER cette communication est exceptionnelle.

Cette bourse séreuse est parfois volumineuse : dans certains cas que nous avons étudiés elle descendait jusqu'à l'insertion humérale du deltoïde (deltoideus), recouvrant ainsi la face antéro-externe de l'os sur 8 cm environ. En haut elle remonte sous l'arche acromio-coracoïdienne recouvrant la partie distale du tendon du sus-épineux (supraspinatus) . Dans certains autres cas elle paraissait plus réduite, répondant simplement à la face antéro-externe des tubérosités de l'humérus. En fait, ce phénomène est bien expliqué par POIRIER qui pense que la bourse "sous delhoïdienne résulte de la fusion de deux séreuses, l'une sous acromiale, l'autre sous-delhoïdienne primitivement isolées". On peut donc la trouver dédoublée dans certains cas.

De toute façon, en pratique il est important de retenir l'existence de cette séreuse, véritable surface de glissement entre la voûte coraco-acromio-delhoïdienne et l'humérus. Dans la chirurgie de l'épaule il faut toujours l'avoir à l'esprit pour l'agresser le moins possible.

Cette articulation sous-acromiale représente un véritable prolongement supéro-externe de l'articulation scapulo-humérale et sur le plan physiologique il faut faire de ces deux articulations un complexe articulaire indissociable (Figure 32).



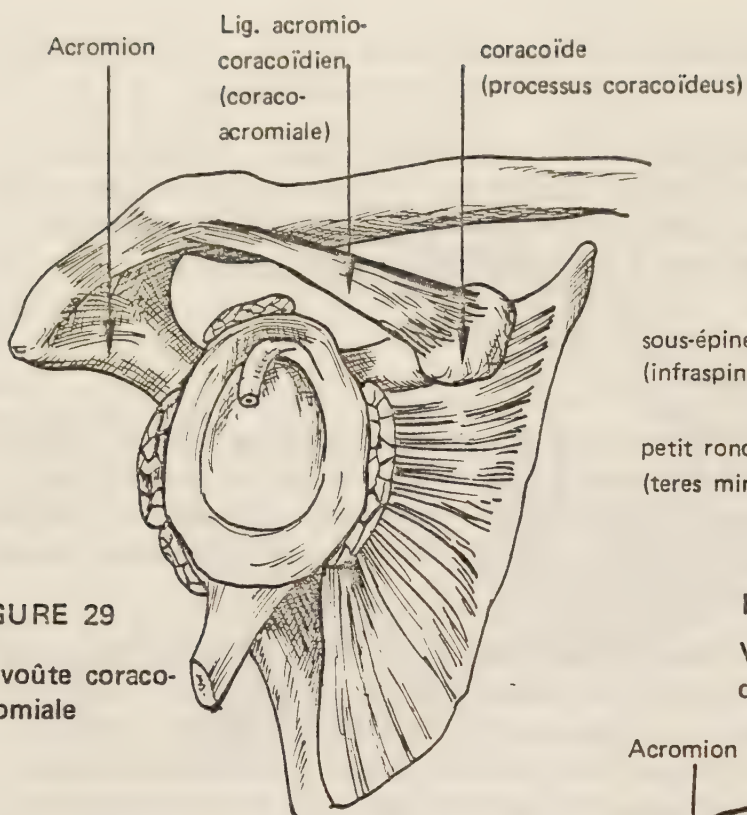


FIGURE 29

La voûte coraco-acromiale

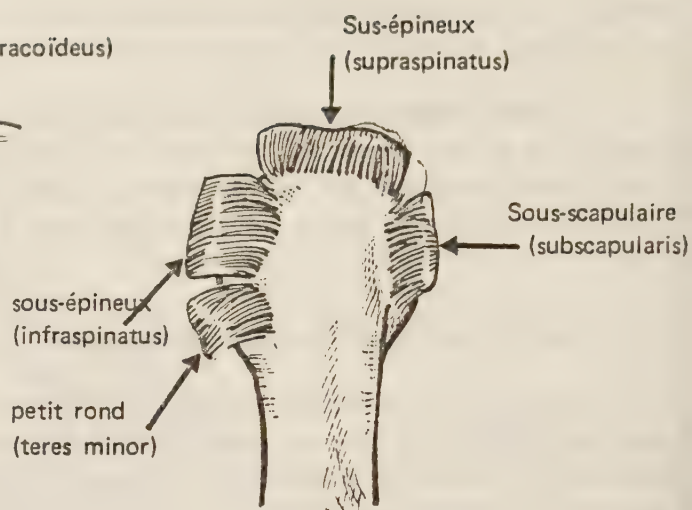


FIGURE 30

Vue externe de l'extrémité supérieure de l'humérus.

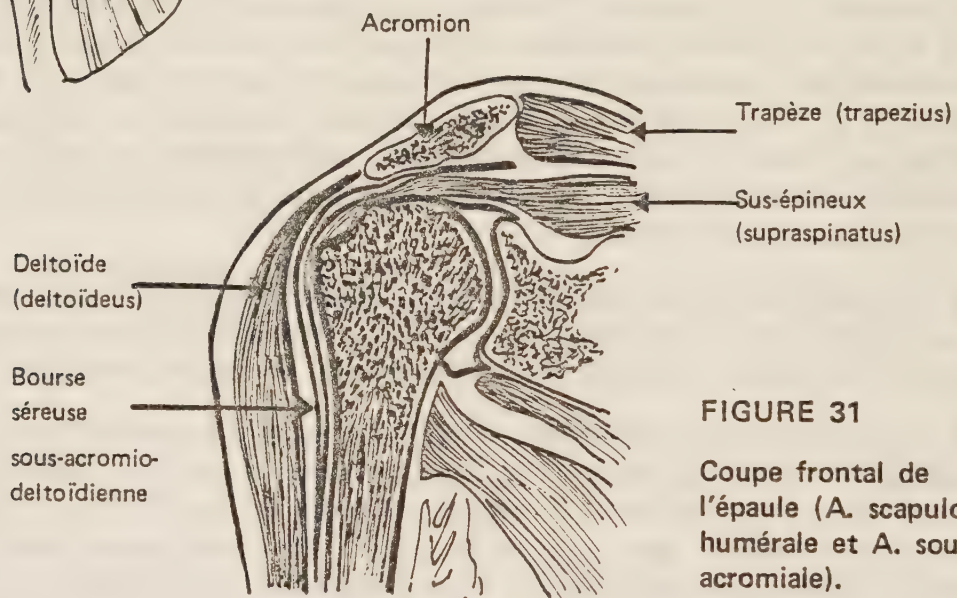


FIGURE 31

Coupe frontale de l'épaule (A. scapulo-humérale et A. sous-acromiale).

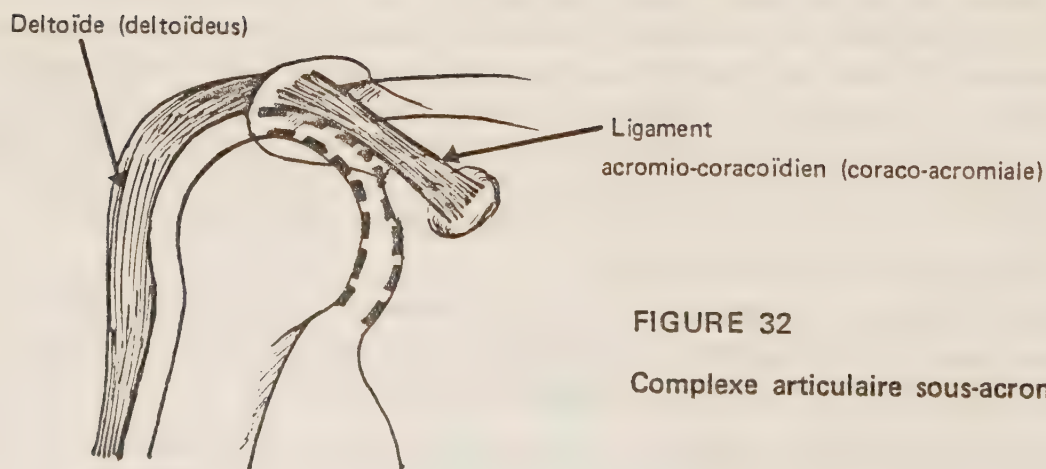


FIGURE 32

Complexe articulaire sous-acromial

II – LES MUSCLES DE L'ÉPAULE

Nombreux, d'importance inégale, difficiles à classer, les muscles de l'épaule peuvent se répartir sur le plan anatomique et physiologique en 4 groupes :

1. Les muscles scapulo-huméraux qui passent de l'omoplate (scapula) à l'humérus.
2. Les muscles axio-huméraux qui passent du tronc à l'humérus.
3. Les muscles axio-scapulaires qui passent du tronc à l'omoplate.
4. Les muscles scapulo-antebrachiaux qui passent de l'omoplate à l'avant bras.

I – LES MUSCLES SCAPULO-HUMÉRAUX

Entrent dans cette catégorie le sus-épineux (supraspinatus), le sous-épineux (infraspinatus), le petit rond (teres minor), le sous-scapulaire (subscapularis), le grand rond (teres major), le deltoïde (deltoideus), le coraco-brachial (coraco-brachialis).

1. Le **sus-épineux (supraspinatus)** : logé dans la fosse sus-épineuse de l'omoplate (scapula) il s'insère en dedans sur les deux tiers internes de cette fosse et se dirige horizontalement en dehors sur la facette supérieure du trochiter (tuberculum majus). La face inférieure de sa portion distale adhère à la face supérieure de la capsule de l'articulation scapulo-humérale (A. humeri). Il est innervé par le nerf sus-scapulaire branche collatérale postérieure du plexus brachial. Ce nerf passe dans l'échancrure coracoïdienne et donne un à deux rameaux à la face profonde du muscle.

Nous nous sommes intéressés à sa vascularisation déjà bien étudiée par SALMON, MOSELEY et GOLDIE, RATHBUN, DEBEYRE et PATTE. Celle-ci est assurée par des branches des artères circonflexes (A. circumflexæ), de l'artère scapulaire postérieure (A. scapularis descendens) et l'artère scapulaire supérieure (A. suprascapularis) (Figures 33-34) :

1 - L'artère scapulaire postérieure par sa branche externe superficielle vascularise la portion interne du muscle.

2 - L'artère scapulaire supérieure, après être passée le plus souvent au dessus, parfois au dessous du ligament coracoïdien, donnent plusieurs branches qui gagnent le muscle par sa face profonde près de la jonction musculo-tendineuse. C'est le pédicule artériel le plus important qu'on repère au niveau de l'échancrure coracoïdienne pour ne pas le lésé dans la translation du sus-épineux (DEBEYRE).

3 - Les artères circonflexes vascularisent le tendon terminal soit directement par des branches d'une anastomose sus-trochitérienne entre les artères circonflexes antérieure et postérieure soit indirectement par des artères intraosseuses trochitériennes qui pénètrent le tendon au niveau de son insertion. Il existe une "zone vasculaire critique" au niveau de la jonction des vaisseaux tendineux et des vaisseaux venus du trochiter. RATHBUN a montré que lorsque l'injection est réalisée le bras en adduction le tendon est moins bien vascularisé que lorsque le bras est en abduction. Il est possible que la mise en tension du muscle (bras en adduction) et la compression de son tendon terminal par la tête humérale entraînent la fermeture des vaisseaux du tendon et interrompent sa vascularisation.

2. Le **sous-épineux (infraspinatus)** : Aplati, triangulaire il s'étale dans la fosse sous-épineuse de l'omoplate (scapula). Il s'insère en dedans sur les trois quarts internes de cette fosse et ses fibres obliques en haut et en dehors se terminent sur un tendon qui adhère à la face postérieure de la capsule de la scapulo-humérale (A. humeri) avant de se fixer sur la facette moyenne du trochiter

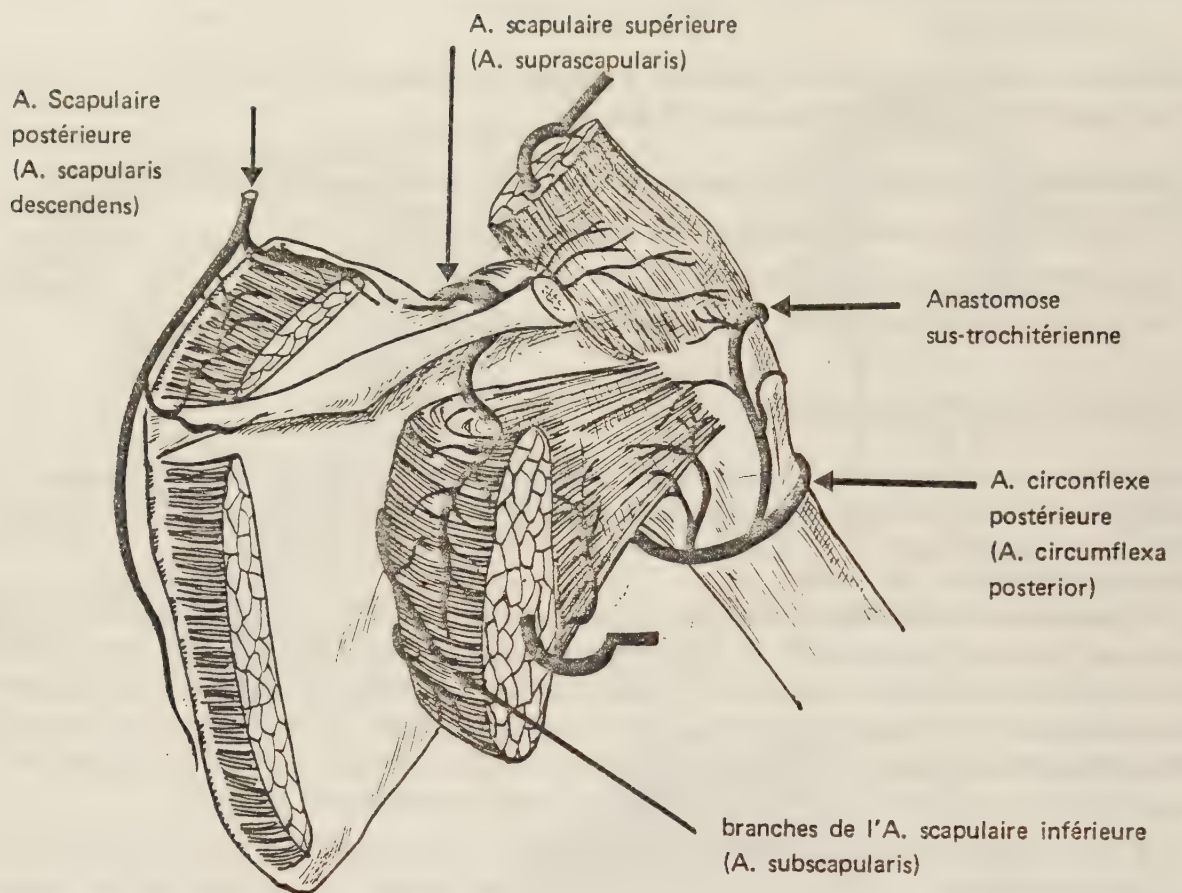


FIGURE 33

Vascularisation du sus-épineux (supraspinatus)
et du sous-épineux (infraspinatus)
Vue postérieure.



branches des A.
circonflexes
(A. circumflexae)

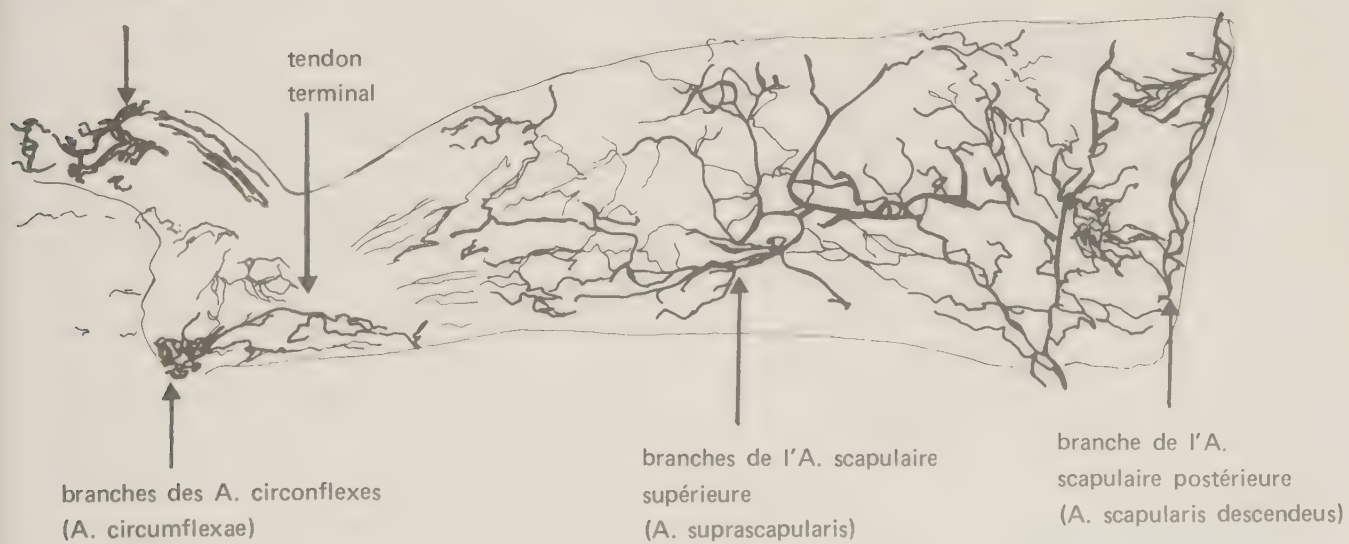


FIGURE 34 : Microangiographie du sus-épineux (supraspinatus) après injection des artères au MICROPAQUE.

(tuberculum majus). Il est innervé par le nerf sus-scapulaire qui contourne l'épine et se termine à la face profonde du muscle. Il est vascularisé par des branches de la scapulaire supérieure (suprascapularis), de la scapulaire inférieure (subscapularis) et de la circonflexe postérieure (circumflexa posterior) (Figure 33).

3. Le petit rond (teres minor) : Aplati, allongé, il s'insère en dedans sur la face postérieure de l'omoplate (scapula) le long du bord externe, se dirige en haut et en dedans pour se terminer par un tendon qui se fixe sur la facette inférieure du trochiter (tuberculum majus). Il est innervé par un rameau du nerf circonflexe (n. axillaris) et vascularisé par une branche de l'artère circonflexe postérieure (A. circumflexa posterior) qui pénètre le muscle avec le nerf en regard de l'interligne articulaire et par quelques branches des artères scapulaires supérieure (suprascapularis) et inférieure (subscapularis).

4. Le sous-scapulaire (subscapularis) : Large, épais, aplati, triangulaire, il s'étale dans la fosse sous scapulaire de l'omoplate (scapula) et en avant de la scapulo-humérale (A. humeri). Il s'insère en dedans sur la lèvre antérieure du bord spinal de l'omoplate, sur les crêtes transversales de la fosse sous-scapulaire et dans les gouttières qui les séparent et sur la lèvre antérieure du bord axillaire. Les fibres musculaires se dirigent en dehors et se jettent sur un tendon aplati qui adhère à la face antérieure de la capsule avant de se terminer sur le trochin (tuberculum minus). Il est innervé par deux nerfs : le nerf supérieur du sous-scapulaire qui naît du tronc primaire supérieur du plexus brachial et innerve les faisceaux supérieurs du muscle et le nerf inférieur du sous-scapulaire branche du tronc radio-circonflexe qui innerve ses faisceaux moyens et inférieurs. Il est vascularisé par des branches de l'artère axillaire (A. axillaris), de la scapulaire inférieure (subscapularis) et de la scapulaire postérieure (scapularis descendens).

Sus-épineux (supraspinatus), sous épineux (infraspinatus), petit rond (teres minor) et sous scapulaire (subscapularis) entourent l'articulation scapulo-humérale (humeri).

Ce sont les véritables ligaments actifs de l'articulation.

5. Le grand rond (teres major) : Allongé, épais, quadrangulaire il s'insère en dedans sur l'angle inférieur de l'omoplate (scapula) et sur sa face postérieure le long du bord externe en dessous du petit rond (teres minor). Oblique en haut en dehors et en avant il se termine par un tendon aplati sur la lèvre interne de la gouttière bicipitale en arrière du grand dorsal (latissimus dorsi). Il est innervé par le nerf du grand rond, branche du tronc secondaire postérieur du plexus brachial qui croise la face antérieure du sous-scapulaire (subscapularis) avant d'aborder la face antérieure du muscle. Il est vascularisé dans la majorité des cas par une seule artère, l'artère du grand rond, branche de la scapulaire inférieure (subscapularis), plus rarement de l'axillaire (axillaris).

6. Le deltoïde (deltoideus) : Muscle triangulaire, en forme d'hemi-cône creux qui se moule sur l'articulation de l'épaule, il s'étend de la ceinture scapulaire au tiers supérieur de la face externe de l'humérus. On lui distingue anatomiquement trois chefs distincts :

- **Le chef antérieur, claviculaire** s'insère en haut sur le tiers externe du bord antérieur de la clavicule (clavicula), ses fibres obliques en bas en dehors et un peu en arrière se fixent sur la lèvre antérieure du V deltoïdien.
- **Le chef moyen, acromial, penniforme** s'insère en haut sur le bord externe de l'acromion par des lames tendineuses verticales qui donnent naissance à des fibres charnues qui se fixent en bas sur les deux branches du V deltoïdien.
- **Le chef postérieur, épineux** s'insère en haut par une lame tendineuse sur toute l'étendue du bord inférieur de l'épine de l'omoplate (spina scapulae); les fibres obliques en bas, en dehors et

un peu en avant se terminent en bas sur la lèvre postérieure du V deltoïdien.

Il est innervé par le nerf circonflexe (n. axillaris). Il est vascularisé essentiellement par la circonflexe postérieure (circumflexa posterior) qui forme avec le nerf le pédicule vasculo-nerveux du muscle ; appliqué à sa face profonde par une forte aponévrose il se détache de l'os quand on relève le muscle. Le tronc de la circonflexe donne deux ou trois branches primaires perpendiculaires aux fibres à l'origine de branches secondaires ascendantes ou descendantes parallèles aux fibres. Le muscle reçoit en outre des branches de l'acromiothoracique (thoracoacromialis), de l'artère scapulaire supérieure (suprascapularis), de l'humérale (brachialis) et de l'humérale profonde (profunda brachii).

7. Le coraco brachial (coraco brachialis) : Né de l'apophyse coracoïde il se dirige obliquement en bas et en dehors pour se fixer sur le tiers supérieur de la face interne de la diaphyse humérale. Il est innervé par le nerf musculo-cutané (n. musculocutaneus) ; vascularisé par une artère principale branche de l'axillaire (A. axillaris) qui aborde le muscle par sa face profonde et par des rameaux accessoires branches de l'acromio-thoracique (thoracoacromialis) et de la circonflexe antérieure (circumflexa anterior).

II – LES MUSCLES AXIO-HUMERAUX.

Entrent dans cette catégorie : le grand pectoral (pectoralis major) et le grand dorsal (latissimus dorsi).

1. Le grand pectoral (pectoralis major) : Volumineux muscle triangulaire qui s'étend de la face antérieure du thorax à l'humérus.

Il s'insère en dedans :

- sur les deux tiers internes du bord antérieur de la clavicule (clavicula) ; c'est le **chef claviculaire**
- sur la face antérieure du manubrium sternal (manubrium sterni) et les deux premiers cartilages costaux : c'est le **chef sterno-costal supérieur**.
- sur la face antérieure du corps du sternum (corpus sterni) par des fibres qui s'entrecroisent avec celles du côté opposé et sur la face antérieure des 3^e, 4^e, 5^e et 6^e, cartilages costaux et de la 7^e côte et sur la gaine du muscle grand droit (rectus abdominis) : c'est le **chef sterno-costal inférieur**.

Les fibres musculaires convergent vers le tendon terminal en forme de U à la coupe qui se fixe sur la lèvre externe de la gouttière bicipitale. Les fibres de la portion claviculaire se jettent sur la branche antérieure du U, les fibres du chef sterno-costal supérieur à la partie inférieure du U, et les fibres du chef sterno-costal inférieur sur la branche postérieure du U.

Le muscle est innervé par deux nerfs du plexus brachial : le nerf supérieur du grand pectoral branche du tronc secondaire antéro-externe du plexus brachial se destine au chef claviculaire ; le nerf inférieur branche du tronc secondaire antéro-externe s'anastomose avec le nerf du petit pectoral pour former l'anse des pectoraux d'où naissent des rameaux qui abordent le muscle par sa face profonde.

Deux groupes d'artères le vascularisent : la branche thoracique de l'acromio-thoracique (thoracoacromialis) dont les collatérales pénètrent à l'intérieur de la gaine musculaire 2 ou 3 centimètres en dessous de la partie moyenne de la clavicule (clavicula). Elles se dirigent en bas et en dehors sur 8 à 12 centimètres avant de pénétrer dans le muscle où elles donnent des branches internes et externes. Le muscle reçoit en outre des vaisseaux de la mammaire interne (thoracica interna) par l'intermédiaire de ses branches perforantes et de ses rameaux parasternaux.

2. Le grand dorsal (latissimus dorsi) (Figure 35). Muscle large et mince, triangulaire, sa base répond

à la colonne vertébrale, son sommet à la région axillaire. Il s'insère en dedans sur les épineuses (processus spinosus) des sept dernières vertèbres dorsales, des lombaires, sur la crête sacrée (crista sacralis) et la partie postérieure de la crête iliaque (crista iliaca).

Les fibres musculaires se dirigent en haut et en dehors contournent le bord inférieur du grand rond (teres major) pour passer en avant de lui en dessinant un mouvement de torsion de sorte que les fibres inférieures deviennent supérieures et inversement. Il se fixe en dehors sur la lèvre interne de la coulisse bicipitale.

Il est innervé par le nerf du grand dorsal branche collatérale du tronc secondaire postérieur du plexus brachial.

Il est vascularisé par une artère volumineuse, branche de la scapulaire inférieure (subscapularis) qui atteint le bord interne du muscle en compagnie du nerf 5 à 6 travers de doigt en dessous de son inversion humérale. A l'intérieur du muscle elle donne des collatérales ascendantes et descendantes. Il reçoit en outre des branches des quatre dernières intercostales et des artères lombaires (A. lumbales).

III – LES MUSCLES AXIO-SCAPULAIRES

Entrent dans ce groupe : le trapèze (trapezius), le rhomboïde (rhomboides), le grand dentelé (serratus anterior), l'angulaire de l'omoplate (levator scapulae), le petit pectoral (pectoralis minor) et le sous clavier (subclavius).

1. Le trapèze (trapezius) (Figure 36) : Muscle large, triangulaire il doit son nom à sa forme aplatie ($\tau\rho\alpha\pi\epsilon\zeta\alpha$). On peut le diviser en trois faisceaux :

- Le faisceau supérieur s'insère en dedans sur la ligne courbe occipitale supérieure (linea nuchae superior) de l'os occipital, sur la protubérance occipitale externe (protuberantia occipitalis externa) et sur le ligament cervical postérieur (fascia nuchae). Les fibres obliques en bas et en dehors vont se fixer sur le tiers externe du bord postérieur de la clavicule.
- Le faisceau moyen s'insère en dedans sur les épineuses (processus spinosus) de C7 à D5. Les fibres transversales se terminent sur le bord postérieur de l'acromion et de l'épine de l'omoplate (spina scapulae).
- Le faisceau inférieur s'insère en dedans sur les épineuses de D5 à D12 et les ligaments interépineux (lig. supraspinale) correspondants. Oblique en haut et en dehors les fibres se terminent sur la partie interne et inférieure du bord postérieur de l'épine de l'omoplate.

Le trapèze est innervé par la branche externe du nerf spinal (n. accessorius) qui atteint la face antérieure du muscle deux centimètre au dessus de la clavicule près du bord supéro-externe de l'omoplate (scapula) et par une branche externe du plexus cervical profond issue de C3 qui atteint le bord supéro-externe du muscle quelques millimètres au dessus de la clavicule.

La vascularisation est assurée par une artère trapézienne branche de la scapulaire postérieure (scapularis descendens) parfois de la cervicale transverse (transversa colli) qui aborde le muscle avec le nerf spinal. Elle se divise à l'intérieur du muscle en plusieurs branches : ascendantes, transversales et descendantes. Le trapèze reçoit en outre quelques rameaux en haut de l'occipitale (occipitalis) en bas des intercostales.

2. Le rhomboïde (rhomboides) (Figure 35) : Aplati, quadrilatère il s'insère en dedans sur les apophyses épineuses (processus spinosus) de C7 à D4 et sur les ligaments interépineux (lig. supraspinale) correspondants. Ses fibres obliques en bas et en dehors se terminent sur les deux tiers inférieurs du bord spinal de l'omoplate. Il est souvent formé de deux faisceaux, l'un supérieur cervical (ou petit rhomboïde) l'autre inférieur dorsal (ou grand rhomboïde) séparé par un interstice celluleux.

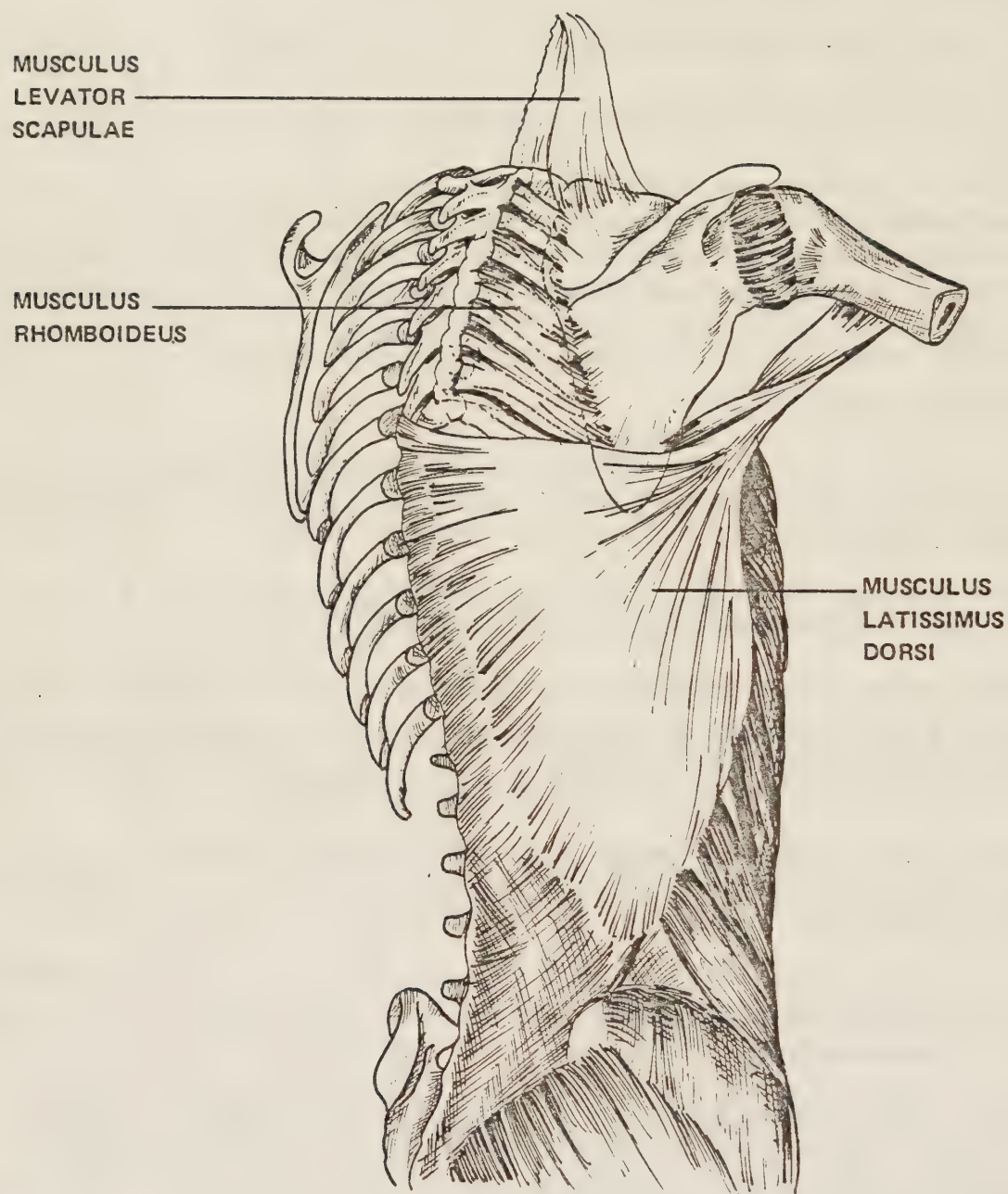


FIGURE 35
Vue postérieure
des muscles de l'épaule

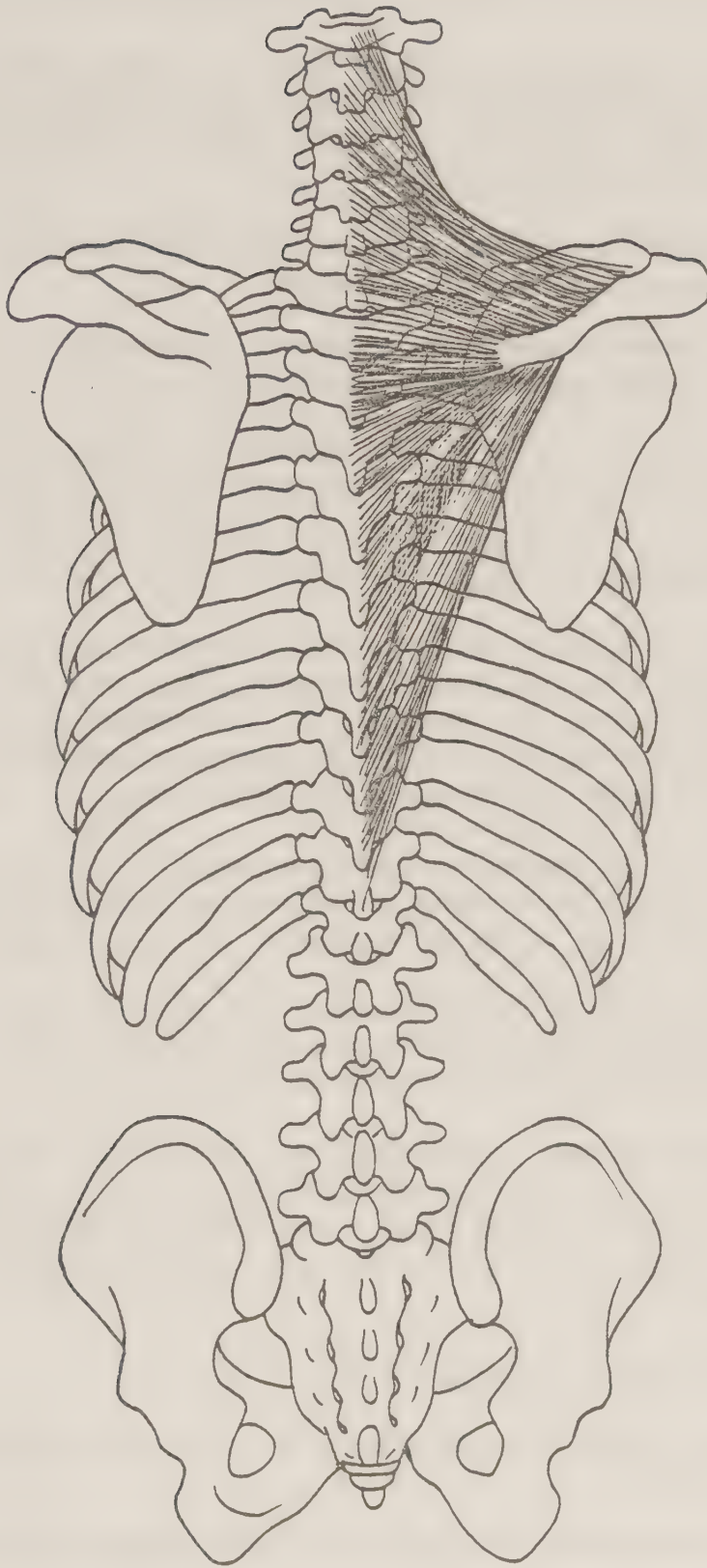


FIGURE 36

Trapèze (trapezius)

Il est innervé par le nerf de l'angulaire et du rhomboïde branche collatérale du plexus brachial. Il reçoit par sa face profonde une série de rameaux qui viennent de la scapulaire postérieure (scapularis descendens) et par quelques rameaux des premières intercostales.

3. L'angulaire de l'omoplate (levator scapulae) (Figure 35) : Grêle, allongé, il s'insère en dedans sur les apophyses transverses (processus transversus) des quatre premières cervicales ; oblique en bas, en arrière et en dehors il se fixe sur l'angle supéro-externe de l'omoplate. Il est innervé par une branche collatérale du plexus brachial.

4. Le grand dentelé (serratus anterior) : Muscle, large, aplati, enroulé autour de la paroi latérale du thorax, il est classique de lui décrire trois portions :

- **Supérieure** qui se fixe sur la partie moyenne des deux premières côtes et se dirige en haut et en arrière vers l'angle supérieur de l'omoplate.
- **Moyenne** qui se fixe sur les 2^e, 3^e et 4^e côtes à leur partie moyenne et se dirige en arrière pour se terminer sur toute la hauteur du bord spinal de l'omoplate.
- **Inférieure** qui se fixe sur le 5^e, 6^e, 7^e, 8^e et 9^e côtes et se dirige en haut et en arrière vers l'angle inférieur de l'omoplate.

Il est innervé par le nerf du grand dentelé (ou nerf respiratoire accessoire de Charles BELL), issu des 5^e, 6^e et 7^e racines cervicales, qui aborde le muscle par sa face superficielle à l'union de son tiers postérieur et de ses deux tiers antérieurs. Il est vascularisé par des branches de la mammaire externe (thoracica lateralis), la scapulaire inférieure (subscapularis), la cervicale transverse (transversa colli), la scapulaire postérieure (scapularis descendens) et les intercostales.

5. Le petit pectoral (pectoralis minor) : Aplati, et triangulaire il s'insère en dedans sur l'arc antérieur des 3^e, 4^e et 5^e côtes, se porte en haut, en arrière et en dehors et se termine sur la pointe de la coracoïde. Il est innervé par le nerf du petit pectoral issu du tronc secondaire antéro-externe du plexus brachial.

Il est vascularisé par les artères petites thoraciques qui pénètrent la face profonde du muscle avec le nerf. Il reçoit en plus quelques branches de l'artère acromiothoracique (thoracoacromialis), de la thoracique supérieure, de la mammaire externe (thoracica lateralis) et des intercostales.

6. Le sous-clavier (subclavius) : Cylindrique, le muscle s'insère en fait au niveau du tiers externe de la clavicule sur la gouttière du sous-clavier. Oblique en bas et en dedans, il se termine sur la face supérieure du premier cartilage costal. Il est innervé par le nerf du sous-clavier branche du plexus brachial et vascularisé par des branches de la scapulaire supérieure (suprascapularis) et de l'axillaire (axillaris).

IV – LES MUSCLES SCAPULO-ANTEBRACHIAUX.

Entrent dans ce groupe le biceps (biceps brachii) et la longue portion du triceps (caput longum triceps brachii).

1. Le Biceps (biceps brachii) : Muscle du bras puissant allongé, fusiforme il présente deux portions

- **La longue portion du biceps** (caput longum biceps brachii) qui se fixe sur le tubercule sus glénoïdien de l'omoplate. Le tendon cylindrique d'origine contourne la face supérieure de la tête humérale passant entre elle et la capsule. Entouré de synoviale il est donc à ce niveau intra-articulaire mais extrasynovial. Il parcourt ensuite la gouttière bicipitale fermée en avant par le ligament huméral transverse, toujours entouré de son manchon synovial. Il donne naissance à des fibres musculaires verticales.

- **La courte portion du biceps** (caput breve) se fixe en haut sur la coracoïde. Ses fibres musculaires verticales rejoignent celles de la longue portion formant ainsi le corps musculaire du muscle qui se fixe par un tendon terminal sur la tubérosité bicipitale du radius (tuberositas radii).

Il est innervé par le musculo-cutané (n. musculocutaneus) et vascularisé par des collatérales de l'humérale (brachialis) selon deux modèles variables : soit deux artères principales (l'une importante à la partie moyenne du bras, l'autre plus petite pour la longue portion), soit un grand nombre d'artères qui naissent en barreau d'échelle de l'humérale (brachialis). RATHBUN a montré qu'au niveau du tendon du long biceps la partie située au dessus de la tête humérale est la moins bien vascularisée.

2. La longue portion du triceps. (caput longum triceps brachii) : Forme un tendon conique qui se fixe en haut sur le tubercule sous glenoïdien. Il présente à son origine une torsion autour de son axe. Ses fibres musculaires rejoignent celles des vastes (caput laterale et mediale triceps brachii) et se termine par un tendon commun sur l'olécrane (olecranon).

Il est innervé par le nerf radial (n. radialis) et reçoit des artères par sa face antérieure venant de l'artère axillaire (A. axillaris), de l'humérale (brachialis) ou d'une de ses branches, par sa face postérieure venant de la scapulaire inférieure (subscapularis) et de la circonflexe postérieure (circumflexa posterior).



CHAPITRE II.

ETUDE CINEMATIQUE DES MOUVEMENTS DE L'EPAULE.

I – LES MOUVEMENTS DE L'EPAULE.

II – ETUDE CINEMATIQUE.

1 – HISTORIQUE

2 – ETUDES PERSONNELLES

MATERIEL ET METHODE

RESULTATS :

A – ETUDE ANALYTIQUE au niveau de :

1 – L'ARTICULATION SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERI)

2 – L'ARTICULATION STERNO-CLAVICULAIRE (A. STERNO CLAVICULARIS)

3 – L'ARTICULATION SCAPULO-THORACIQUE

4 – L'ARTICULATION ACROMIO-CLAVICULAIRE (A. ACROMIO CLAVICULARIS)

B – ETUDE SYNTHETIQUE :

– L'abudction

– La flexion

– L'extension

– La rotation externe

– La rotation interne



I – LES MOUVEMENTS DE L'ÉPAULE.

L'épaule, articulation à trois degrés de liberté, est l'articulation la plus mobile de l'organisme. Elle autorise des mouvements dans les trois plans de l'espace. L'association de ces mouvements permet un mouvement plus complexe : La circumduction qui fait décrire au bras dans l'espace un cône irrégulier à base distale et à sommet proximal ; c'est le **cône de circumduction**. La finalité de ce complexe articulaire est de permettre au maximum l'**élévation du bras au zenith**.

La terminologie des différents mouvements est souvent variable suivant les auteurs. Aucune, en effet, n'est satisfaisante. Nous avons utilisé celle qui consiste à étudier les mouvements dans les trois plans de l'espace. Cette terminologie est certainement critiquable mais elle a l'avantage d'être simple : la position de repos correspond au membre supérieur pendant le long du tronc. A partir de cette position les mouvements se font dans les trois plans de l'espace : (Figure 37).

1. Dans un plan frontal autour d'un axe horizontal antéro-postérieur :

- L'**abduction** consiste à écarter le bras de l'axe du corps jusqu'à 90° ; au-delà de 90° le mouvement rapproche le bras de l'axe du corps. L'amplitude du mouvement est de 180° .
- L'**adduction** consiste à rapprocher le bras de l'axe du corps. Son amplitude est nulle dans le plan frontal strict (car le bras bute contre le tronc) et atteint 30 à 45° si l'on y associe une flexion (afin de permettre au bras de passer devant le tronc).

2. Dans un plan sagittal autour d'un axe horizontal et transversal :

- La **flexion** (ou antépulsion) consiste à projeter le bras vers l'avant jusqu'à 90° ; au-delà elle le ramène en arrière. Son amplitude totale atteint 180° . Comme dans l'abduction, à la fin du mouvement le bras est au zenith.
- L'**extension** (ou rétropulsion) consiste à projeter le bras vers l'arrière. L'amplitude du mouvement est de 45 à 50° .

3. Dans le plan horizontal autour d'un axe vertical, si partant de la position de repos on fléchit le coude à 90° :

- La **rotation externe** correspond au mouvement qui permet de porter l'avant-bras vers l'extérieur alors que le bras reste au contact du tronc. L'amplitude de ce mouvement est de 60° .
- La **rotation interne** permet de porter l'avant-bras vers l'intérieur. Son amplitude est de $100 - 110^{\circ}$ (la position extrême est obtenue quand on passe l'avant bras dans le dos et que la main repose sur la fesse contro-latérale ; ce qui implique d'ailleurs une certaine rétropulsion.)

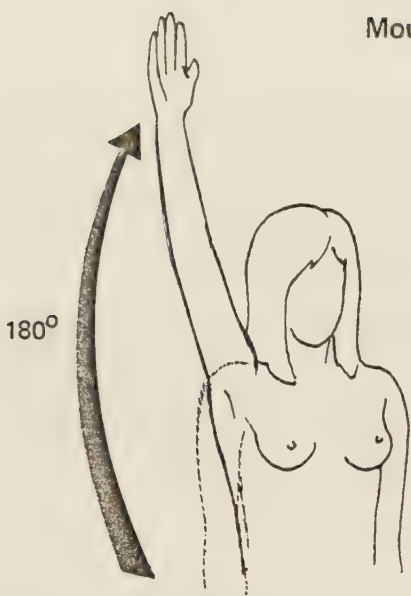
Tels sont les mouvements plans simples de l'épaule mais ceci appelle quelques remarques :

1) Si l'on prend comme position de référence une position autre que la position de repos on doit décrire d'autres mouvements : ainsi par exemple à partir du bras placé à 90° d'abduction les mouvements peuvent se faire dans le plan horizontal autour d'un axe vertical (Figure 38)

- La **flexion horizontale** consiste à porter le bras en avant et en dedans, son amplitude est de 140°
- L'**extension horizontale** consiste à porter le bras en arrière et en dedans son amplitude est de 30°

2) Les **rotations** : elles se font autour de l'axe du bras. Nous avons vu que lorsque le bras se trouve le long du corps, l'amplitude globale atteint 160° ($60 + 100$). Lorsque le bras s'élève l'amplitude des rotations diminue :

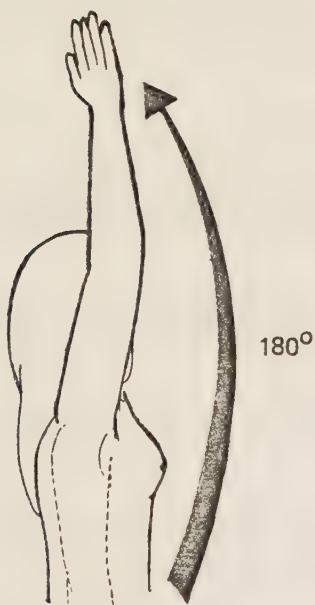
FIGURE 37
Mouvements plans simples de l'épaule



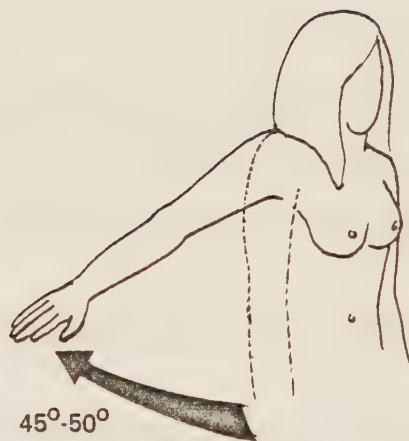
Abduction



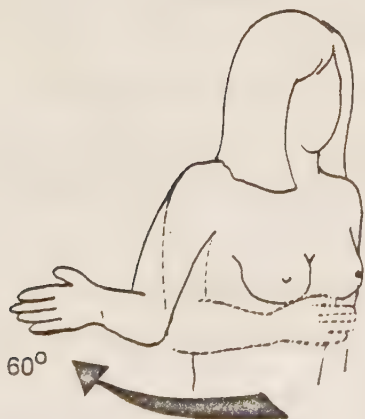
Adduction



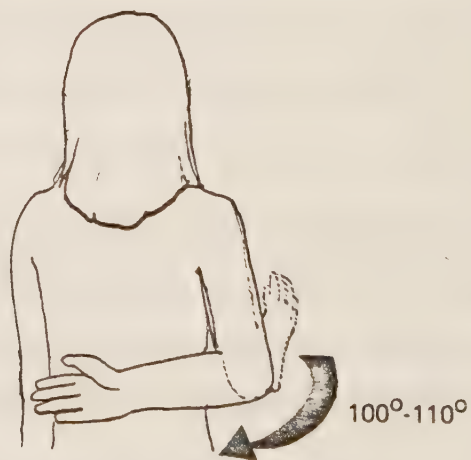
Flexion



Extension



Rotation externe



Rotation interne

FIGURE 38

Mouvements de l'épaule dans le plan horizontal
à partir de 90° d'abduction

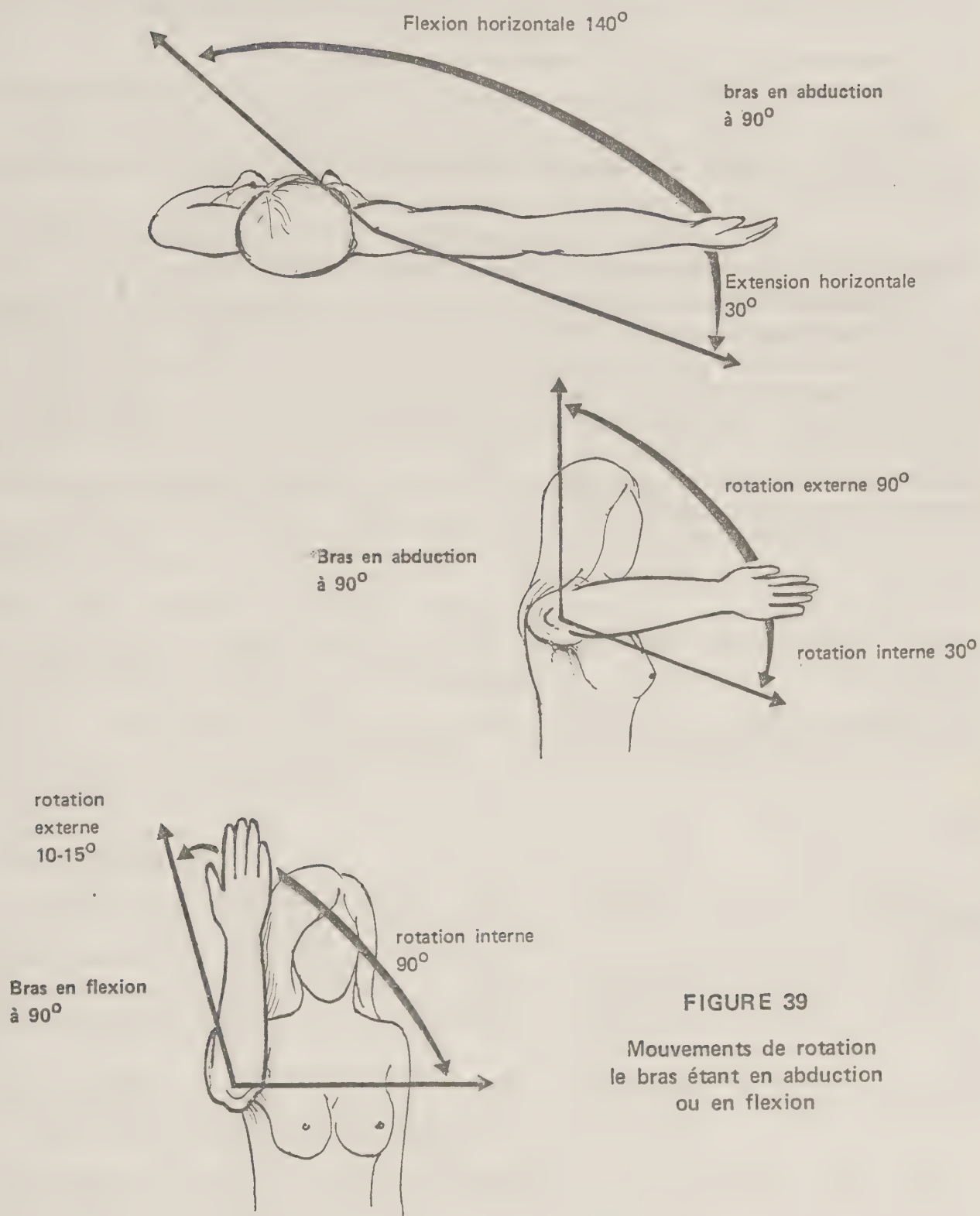


FIGURE 39

Mouvements de rotation
le bras étant en abduction
ou en flexion

- à 90° d'abduction la rotation externe est de 90° mais la rotation interne n'est que de 30° (Figure 39) par contre lorsqu'il est à 90° de flexion la rotation externe ne dépasse pas 10° à 15° alors que la rotation interne est de 100° .
- Lorsque le bras est au zénith l'amplitude globale des rotations ne dépasse pas 20° à 30° .

3) Les mouvements sont rarement des mouvements plans véritables :

- Ainsi pour élever le bras au zénith en effectuant une abduction il faut y associer une rotation externe.
- Au contraire pour élever le bras au zénith en effectuant une flexion il faut y associer une rotation interne.

Il existe donc deux voies pour lever bras au zénith : une **voie latérale** qui associe abduction - rotation externe et une **voie antérieure** qui associe flexion - rotation interne.

Le paradoxe de CODMAN : le bras étant au zénith si l'on retourne à la position de repos par un mouvement inverse de la flexion le bras se retrouve en rotation interne ; si l'on retourne à la position de repos par un mouvement inverse de l'abduction le bras se retrouve en rotation externe ; et dans les deux cas il n'y a aucune rotation du bras autour de son axe. Le paradoxe n'est qu'apparent : au cours de l'élévation du bras par flexion - rotation interne l'avant-bras est perpendiculaire au plan sagittal du mouvement et ne change pas de sens ; au cours de l'élévation du bras par abduction - rotation externe l'avant-bras est dans le plan frontal du mouvement et change de sens quand le bras dépasse l'horizontale. Au zénith le bras se trouve donc en rotation interne.



II – ETUDE CINEMATIQUE.

La cinématique est une partie de la mécanique qui décrit les mouvements sans tenir compte des causes qui les engendrent, en définissant les trajectoires, les vitesses et en étudiant les lois qui les régissent.

1 – HISTORIQUE

Le développement de la cinématique date du XIX^e siècle et c'est REULEAUX (1876) qui a introduit dans le mouvement plan la notion de "centre distributeur des vitesses" ou "centre instantané de rotation" (C.I.R.). Le C.I.R. permet de déterminer les vitesses de tous les points d'un plan mobile quand on connaît la direction de la vitesse de deux de ces points.

Cette idée a été utilisée pour une meilleure compréhension de la mécanique articulaire : FICK en 1911 semble avoir été le premier à adapter ces notions de cinématique. Si l'on peut identifier sans ambiguïté des points sur une radiographie et si l'on peut suivre ces points sur les différents clichés pris au cours du mouvement, on peut alors tracer la trajectoire discontinue des points. On définit chaque centre de rotation qui fait passer d'une position à la position voisine. FICK a appliqué cette méthode pour différentes articulations et en particulier pour la scapulo-humérale (A. humeri).

Elle a été utilisée pour l'étude d'articulations en mouvement plan par :

- CHISSIN (1906), HALL (1929), GRANT (1973) pour l'articulation temporo-mandibulaire.
- de LUCA et FORREST (1973) pour la scapulo-humérale (A. humeri).
- SMIDT (1973), HOBSON et TORFASON (1974) pour le genou
- ROLANDER (1966), LYSSEL (1966), COSSETTE, FARFAN, ROBERTSON et WELLS (1971), GONON et DIMNET (1975) pour la colonne vertébrale.

D'autres auteurs, partant du fait que les mouvements plans ne sont que des cas particuliers ont utilisé les concepts de la cinématique spatiale à l'aide de modèles mathématiques. Ces travaux concernent surtout la colonne vertébrale.

2 – ETUDES PERSONNELLES

La méthode que nous utilisons a été mise au point par J. DIMNET et tous les travaux que nous présentons ont été réalisés avec la collaboration de J. DIMNET, G.P. GONON et L.P. FISCHER. Cette méthode se situe à mi-chemin entre les méthodes simples, graphiques, de la cinématique plane et les méthodes compliquées et coûteuses de la cinématique spatiale. Nous sommes partis du fait que les mouvements spatiaux d'une articulation peuvent se décomposer en plusieurs mouvements plans.

Dans un premier temps nous avons utilisé une méthode dérivée de celle de FICK. Les résultats étant affinés et précisés grâce au traitement des documents par un ordinateur électronique. Cette méthode est détaillée dans la thèse de G.P. GONON.

Actuellement, J. DIMNET a mis au point une méthode dont le principe est original et qui permet de traiter les documents non plus sur un ordinateur mais sur un ordinateur (Figures 40-41) ; ceci permet un gain de temps considérable puisque nous pouvons interpréter maintenant une série de clichés en 2 à 3 heures alors qu'auparavant il fallait une semaine pour la même série. La précision est de l'ordre du 1/100^e de millimètre.

MATERIEL ET METHODE.

I — MATERIEL :

Pour l'étude cinématique des mouvements plans des articulations de l'épaule nous avons utilisé des photographies et des radiographies prises à intervalle régulier (tous les 10^0 environ) au cours des déplacements du bras.

- **Les photographies** : après mise en place de repères (épingles à tête de verre de couleurs différentes) sur les pièces osseuses d'un cadavre frais, des photographies sont tirées à l'aide de trois appareils dans les trois plans de l'espace. Cette méthode n'est utilisable que sur le cadavre.
- **Les radiographies** : peuvent être prises sur le cadavre ou sur le vivant. Sur le cadavre des repères métalliques sont fixés sur les pièces osseuses ; sur le vivant on utilise des repères anatomiques ou, de plus en plus, le profil osseux.
Les films radiographiques sont parallèles au plan du mouvement considéré. La source de rayon X se trouve le plus loin possible de la plaque pour éviter l'effet de parallaxe.

Notre étude porte sur 5 sujets de 30 ans et sur 10 pièces cadavériques.

II — METHODE :

Le déplacement d'un solide dans l'espace peut être décomposé dans tous les cas en : (Figure 42)

- une translation : le solide reste parallèle à lui-même. Cette translation amène le point O de la position O_1 à la position O_2
- une rotation autour d'un axe Δ_1 dont l'amplitude se mesure en degrés.

Pour faire passer un solide d'une position 1 à une position 2 il existe une infinité de choix possible (le choix du point O est arbitraire) mais une seule rotation. Alors que la rotation est caractéristique d'un déplacement élémentaire la translation ne l'est pas.

★ *Déplacement hélicoïdal tangent au déplacement réel* : dans le but de caractériser un déplacement par une rotation et une translation on s'impose des conditions restrictives sur la translation : on se propose de reconnaître les points I (Figure 43) dont la translation est colinéaire à l'axe de rotation. Ces points existent, ils sont sur un axe : l'axe de viration. Avec l'introduction de l'axe de viration tout déplacement élémentaire entre deux positions successives peut être assimilé à un mouvement hélicoïdal. Dans un tel mouvement la rotation autour d'un axe Δ est précédée par une translation $I_1 I_2$ le long de cet axe.

★ *Déplacement plan* : On désigne par déplacement plan le déplacement d'un solide dont les points ont des trajectoires parallèles à un plan de projection. Le déplacement d'une feuille de papier dans le plan d'observation ($O \times y$) en est un déplacement plan (Figure 44). La notion de déplacement spatial se trouve alors dégénérée de la façon suivante : l'axe de rotation est perpendiculaire au plan de figure, plan d'observation ; la translation le long de l'axe perpendiculaire au plan de figure est nulle puisque la feuille reste dans son plan ; l'axe de viration devient alors l'axe de rotation et le point I de cet axe est le centre instantané de rotation : c'est le point de la feuille dont le déplacement est nul au cours du déplacement élémentaire : la feuille toute entière est animée d'un mouvement de rotation autour de ce point.

La différence entre rotation plane et déplacement plan quelconque réside dans le fait que le centre de rotation reste fixe dans le premier cas, alors que dans le second il se déplace pour chacune des positions.



FIGURE 40 : Ordinateur PDP 11 et ses périphériques.

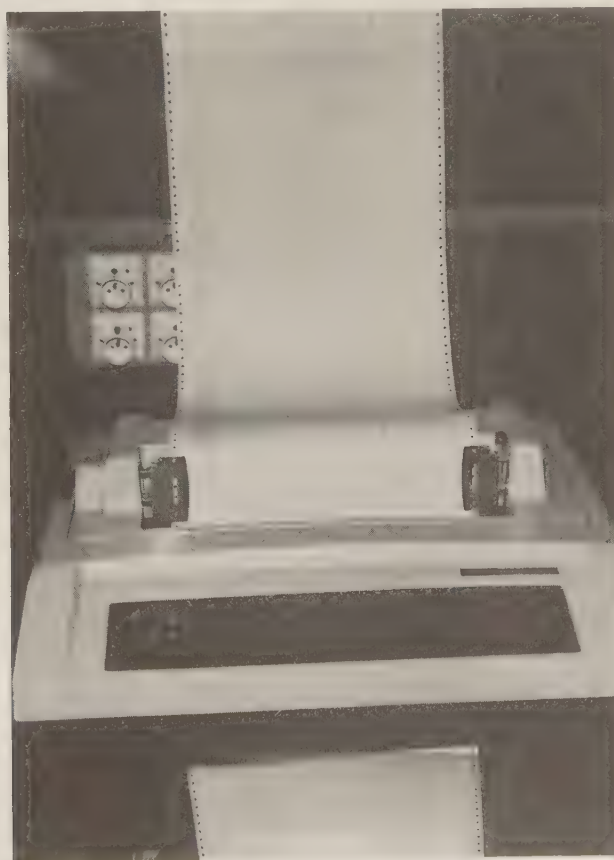


FIGURE 41 : télécype : résultats du traitement fourni par le télécype relié à l'ordinateur.

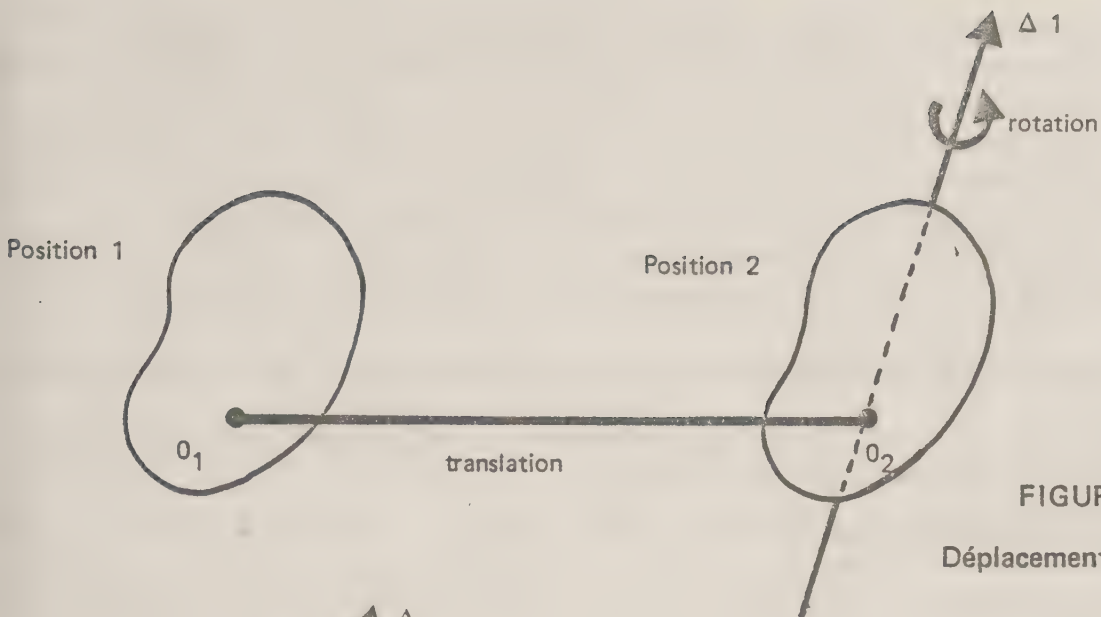
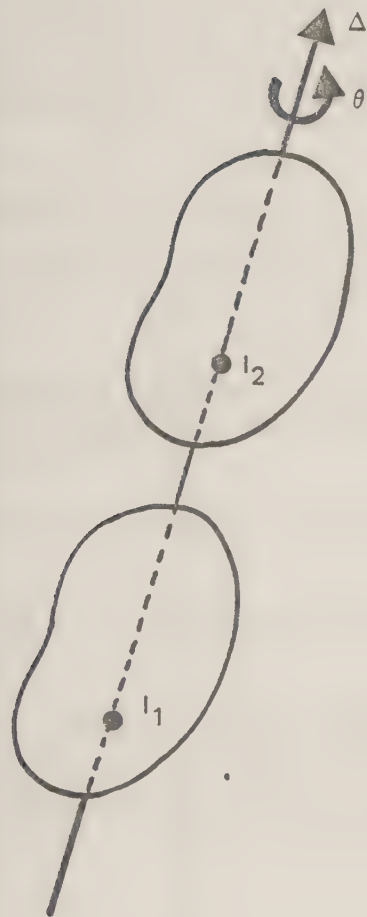


FIGURE 42
Déplacement d'un solide



$I_1 I_2$ translation le long de l'axe Δ
 θ rotation autour de l'axe Δ

FIGURE 43
Déplacement hélicoïdal
tangent au déplacement réel

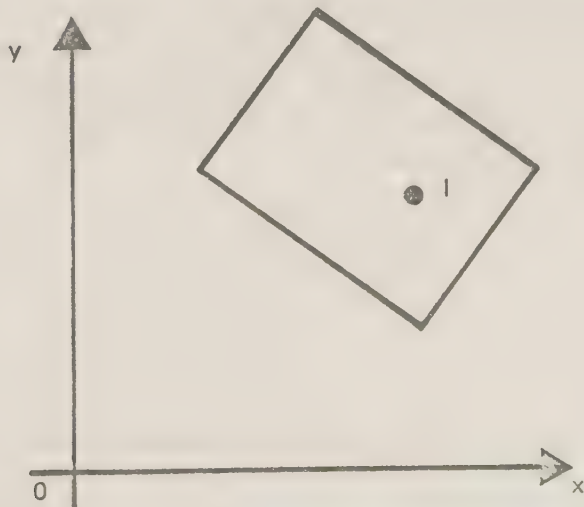


FIGURE 44
Déplacement plan

★ *Déplacement pseudo-plan* : Certains mouvements dans l'espace ont des caractéristiques telles que ce sont essentiellement des mouvements plans mais ils sont perturbés par des rotations parasites autour d'axes qui ne sont plus perpendiculaires au plan de figure. Lors de l'abduction du bras la composante de rotation dans le plan frontal autour de l'axe Δ_1 est perturbée par la composante de rotation axiale autour de l'axe Δ_2 (Figure 45). Le fait d'assimiler le mouvement d'abduction à un mouvement plan revient à négliger la mesure de la rotation axiale devant la rotation principale. Cette attitude peut être justifiée : il est démontré que la composante principale de la rotation spatiale du mouvement réel a pour valeur la composante mesurée dans l'hypothèse simplificatrice.

Mesure des caractéristiques des déplacements au moyen de radiographies (ou de photographies) :

1. **Déplacements plans** : après avoir vérifié que le déplacement réel peut être assimilé à un déplacement plan, les mesures proprement dites sont effectuées.

- Un coefficient de planéité est préalablement défini : pour qu'un mouvement soit plan il suffit que la trajectoire de trois de ses points A, B, C (Figure 46) soit plane. Les projections a, b, c, des trois points dans le plan d'observation doivent constituer un triangle indéformable. Le coefficient de planéité permet de chiffrer les déformations de ce triangle. Le respect d'une bonne planéité (supérieure à 95 %) permet de garantir les résultats proposés : les méthodes utilisées pour traiter les données n'ont une signification que dans la stricte hypothèse où les mouvements sont plans.

- La technique consiste :

- à substituer au solide osseux en déplacement un ensemble de deux directions (les directions naturelles) (Figure 47). L'identification des directions pour chacune des positions est le résultat d'un traitement statistique portant sur une vingtaine de lectures ; ce procédé offre le double avantage d'être plus sûr et de connaître l'erreur attachée à chaque résultat.

- à déterminer le centre de rotation faisant passer de la position 1 à la position 2 (Figure 48). Le centre est obtenu par la résolution analytique de constructions géométriques utilisant les positions correspondantes des directions attachées au solide.

- à évaluer l'erreur entourant chaque centre de rotation ; cette erreur résultant de l'erreur relative à l'identification de chacune des directions.

- à tracer le lieu des positions successives occupées par le centre de rotation au cours du déplacement dans chacun des repères liés aux solides en mouvement.

Contrairement à ce qu'on peut observer en mécanique traditionnelle les articulations font apparaître des concentrations de centres de rotation dans des zones limitées de dimensions finies. Pour mettre ce phénomène en évidence les cercles de dispersion de centres de rotation ont été définis : ils matérialisent la nuée dynamique des centres de rotation par un cercle C dont le centre est le barycentre des différents centres :

$$x_c = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}$$

$$y_c = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n}$$

et dont le rayon est la distance moyenne quadratique entre le centre c et chacun des centres de rotation

$$R^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2}{n}$$

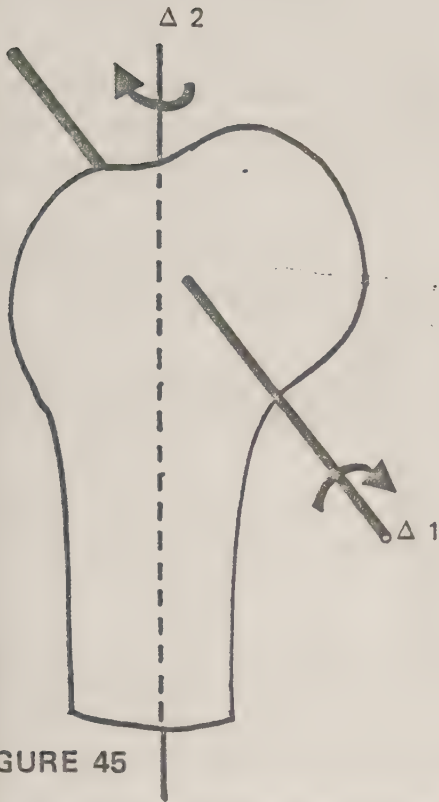


FIGURE 45

Déplacement pseudo-plan (au cours de l'abduction).

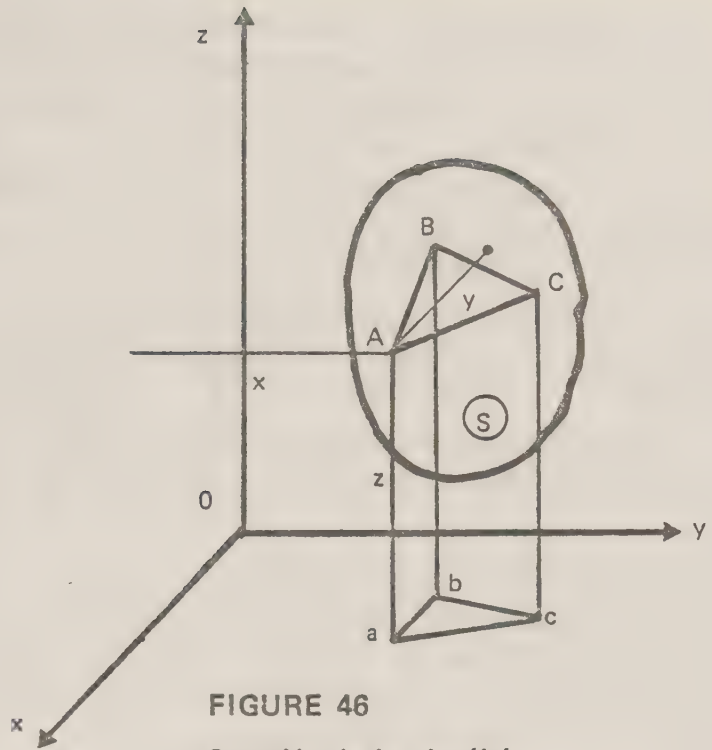


FIGURE 46

Contrôle de la planéité

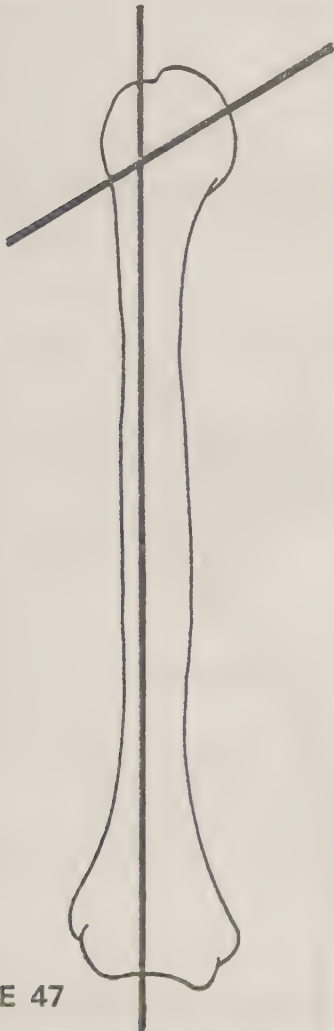


FIGURE 47

Directions naturelles de l'humérus dans le plan frontal

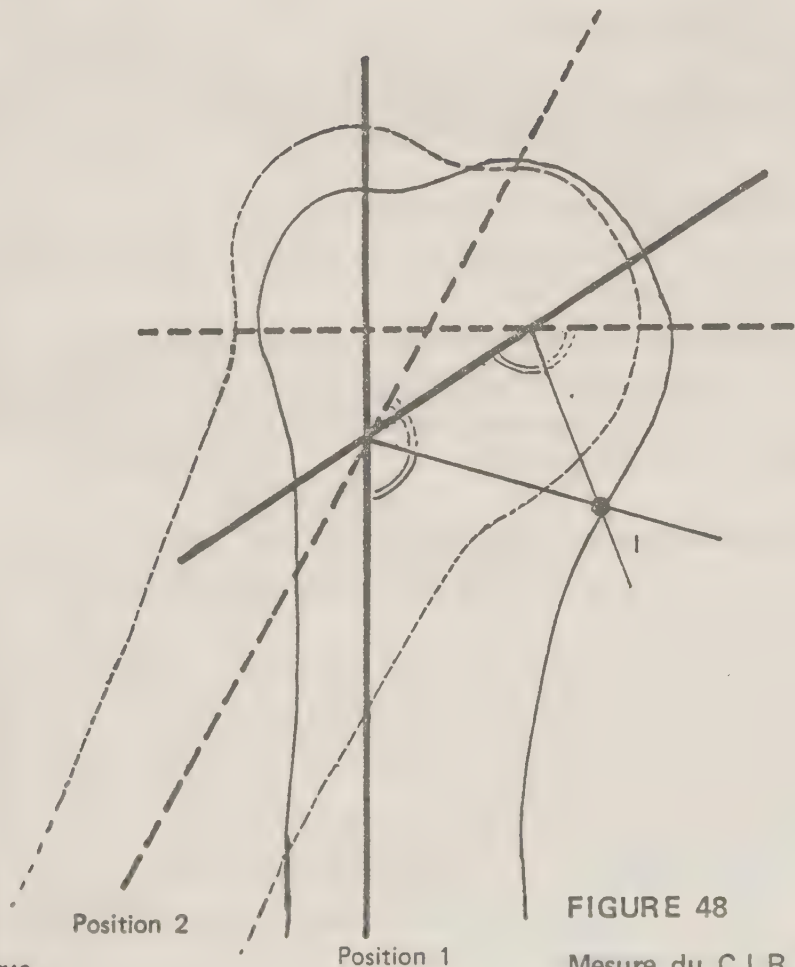


FIGURE 48

Mesure du C.I.R. faisant passer de la position 1 à la position 2 (J. DIMNET)

2. Déplacements spatiaux : contrairement aux déplacements plans pour lesquels une seule radio est suffisante pour identifier sans ambiguïté un ensemble de solides dans une position donnée, la reconnaissance d'un déplacement dans l'espace impose une double série de clichés. Le principe du calcul des déplacements dans l'espace implique :

- pour chacune des positions de l'articulation la connaissance de deux clichés de l'articulation prise pour la position considérée suivant des angles différents (17° de part et d'autre d'un axe perpendiculaire au plan du mouvement).
- la reconstitution stéréographique des coordonnées des points de l'articulation (détermination analytique des coordonnées dans l'espace à partir de leur projection dans deux plans radiographiques différents).
- la détermination des éléments caractéristiques des déplacements (rotation, axe de la rotation, mouvement hélicoïdal tangent) à partir des coordonnées calculées des solides pour chacune des positions.

Cette technique a l'avantage d'être plus générale que la technique plane mais elle a deux inconvénients importants : elle fait appel à des calculs plus longs, générateurs d'erreurs plus importantes ; elle exige deux fois plus de clichés pour l'étude d'un mouvement c'est la raison pour laquelle nous nous sommes limités à l'étude des mouvements pseudo-plans chez des sujets vivants, les résultats proposés sont partiels mais sûrs.

RESULTATS.

A — ETUDE ANALYTIQUE :

Au cours de n'importe quel mouvement de l'épaule toutes les pièces osseuses du complexe articulaire entrent en jeu et chacune d'elles se déplace dans les trois plans de l'espace (Figure 49).

1. L'humérus : tourne donc autour de trois axes :

- autour de l'axe longitudinal de l'os (vertical lorsque le bras est en position de repos) : on parle de rotation axiale.
- autour d'un axe antéro-postérieur : la rotation de l'humérus se fait dans le plan frontal (ou coronal) : on parle de rotation frontale.
- autour d'un axe transversal : la rotation de l'humérus se fait dans le plan sagittal : on parle de rotation sagittale.

2. La clavicule (clavicula) : tourne autour de trois axes :

- autour de l'axe longitudinal de l'os (pratiquement horizontal et transversal) : on parle de rotation axiale.
- autour d'un axe antéro-postérieur : la rotation de la clavicule se fait dans un plan vertical (pratiquement frontal) qui passe par la clavicule : on parle de rotation frontale.
- autour d'un axe vertical : la rotation de la clavicule se fait dans un plan horizontal : on parle de rotation horizontale.

3. L'omoplate (scapula) : tourne autour de trois axes :

- un axe antéro-postérieur perpendiculaire au plan de l'os : on parle du pivotement de l'omoplate (ou de rotation frontale).

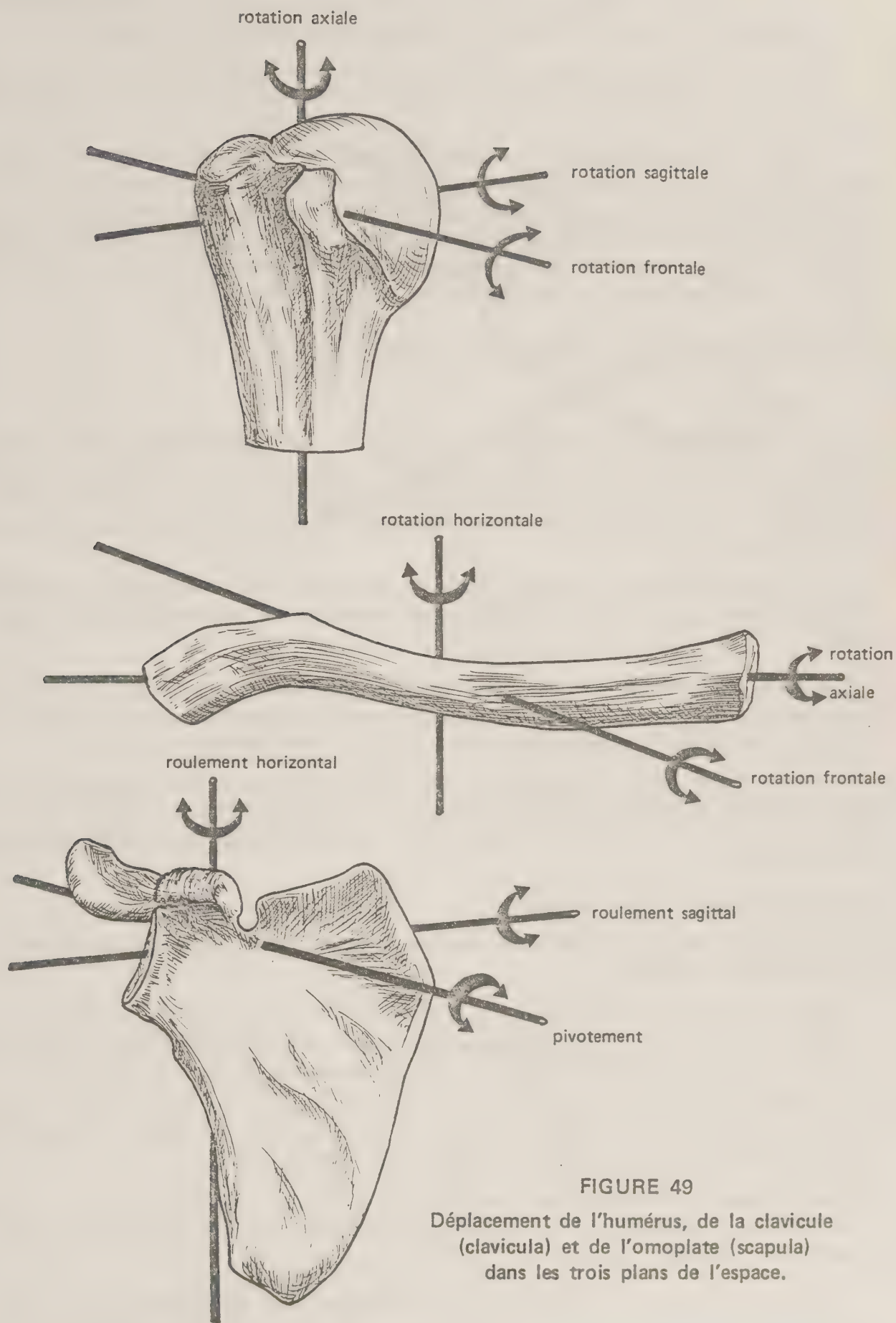


FIGURE 49

Déplacement de l'humérus, de la clavicule (clavicula) et de l'omoplate (scapula) dans les trois plans de l'espace.

- un axe vertical : l'omoplate tourne autour d'une droite verticale de son plan, dans un plan horizontal : on parle de roulement horizontal (ou de rotation horizontale)
- un axe horizontal transversal : l'omoplate tourne autour d'une droite horizontale transversale de son plan, dans un plan sagittal : on parle de roulement sagittal (ou de rotation sagittale).

PROVINS a montré l'évolution du centre instantané de rotation au niveau de l'épaule, considérée comme un tout, lors de l'élévation du bras (Figure 50). Cette étude est intéressante mais elle est trop globale : elle ne tient pas compte du mouvement de chaque articulation et ne s'intéresse qu'à la projection du mouvement dans le plan frontal. C'est pourquoi nous présentons des résultats au niveau de chaque articulation du complexe articulaire de l'épaule au cours des mouvements plans du bras : abduction, flexion - extension, rotation interne, rotation externe.

I -- ARTICULATION SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERI).

1. Abduction :

Au cours de l'abduction l'humérus tourne autour d'un axe antéro-postérieur dans le plan frontal. La rotation de l'humérus sur l'omoplate est de 90° si le bras se trouve dans le plan frontal strict et atteint 110° si le bras est placé dans le plan de l'omoplate : dans ce cas en effet, la mise en tension des ligaments gléno-huméraux (gleno humeralia) est retardée et l'amplitude du mouvement est plus grande.

A la rotation frontale de l'humérus s'associe une rotation axiale externe, sans laquelle le bras ne pourrait être placé au zénith. Il existe plusieurs explications à la nécessité de cette rotation axiale :

★ Au cours du mouvement le trochiter (tuberculum majus) se rapproche de l'acromion puis bute contre lui. La rotation externe de l'humérus efface le trochiter et permet de présenter à l'acromion non plus le trochiter trop saillant mais l'échancrure intertubérositaire. (Figure 51).

★ Au cours du mouvement le ligament gléno-huméral inférieur se tend progressivement limitant ainsi l'amplitude de l'abduction (rotation frontale) de l'humérus. La rotation externe détend légèrement ce ligament et la poursuite du mouvement est possible. (Figure 52). Cette hypothèse semble la plus probable.

Le centre de rotation du mouvement :

Peu d'auteurs se sont intéressés au problème ; c'est pourtant à notre avis un élément important de la mécanique articulaire.

- FICK, par une méthode géométrique, situe le centre de rotation à peu près au niveau du col anatomique ou légèrement en dehors ; ce centre n'est pas situé dans le prolongement de l'axe longitudinal de l'humérus, mais en moyenne à 4,5 mm en dedans.
- DE LUCA, situe le centre instantané de rotation en dedans et en dessous du trochiter (tuberculum majus) et du trochin (tuberculum minus). Ses résultats sont discutables car obtenus à partir de trois clichés seulement pris dans trois positions d'amplitude variable.
- Etudes personnelles : notre étude porte sur le mouvement d'abduction dans le plan de l'omoplate au niveau de la scapulo-humérale (A. Humeri) ; nous avons éliminé la composante rotatoire externe de l'humérus.

Au cours de l'abduction l'articulation scapulo-humérale n'est pas assimilable à une rotule puisque son centre instantané de rotation (C.I.R.) se déplace : l'humérus tourne d'abord autour d'un centre 0-1 puis d'un centre 1-2 ... jusqu'au centre 6-7 avec une discontinuité en 3-4 (c'est-à-dire vers

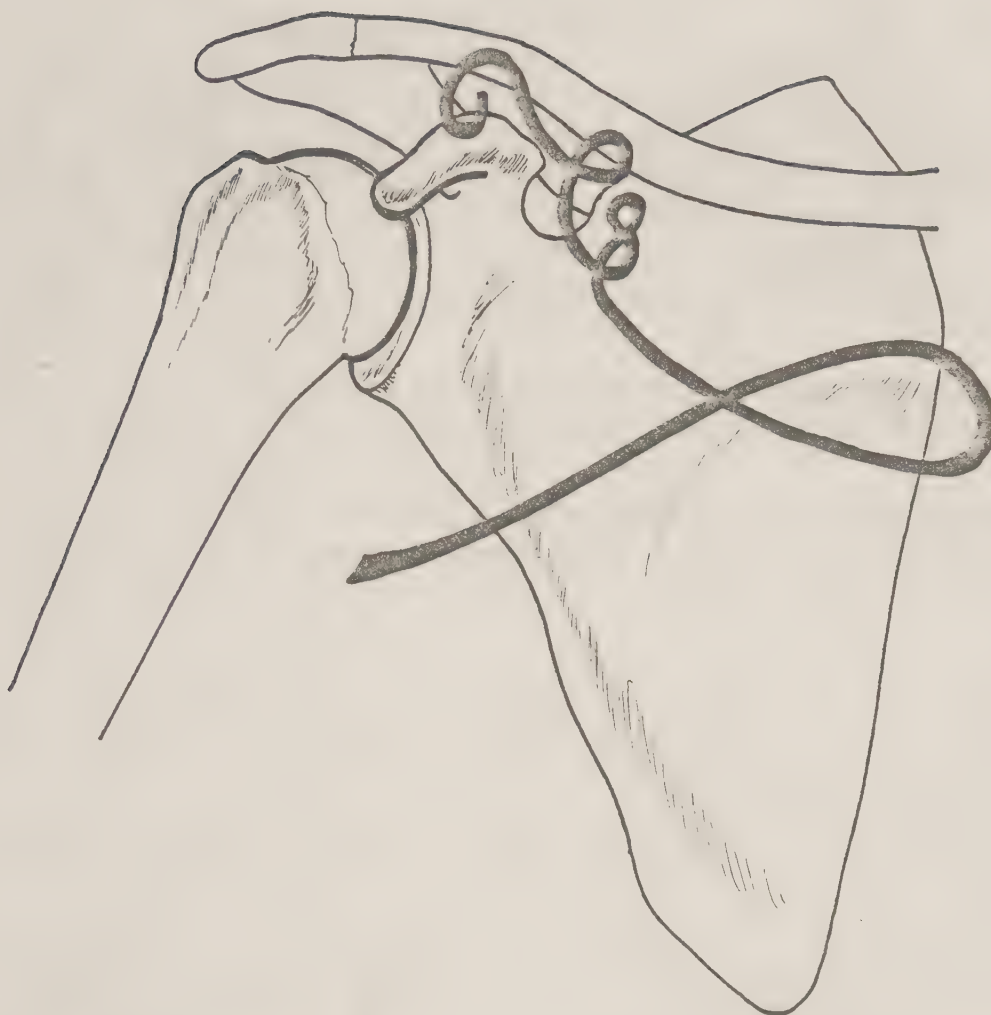


FIGURE 50

Trajectoire du C.I.R. au niveau de l'épaule,
considérée comme une seule articulation (d'après PROVINS)

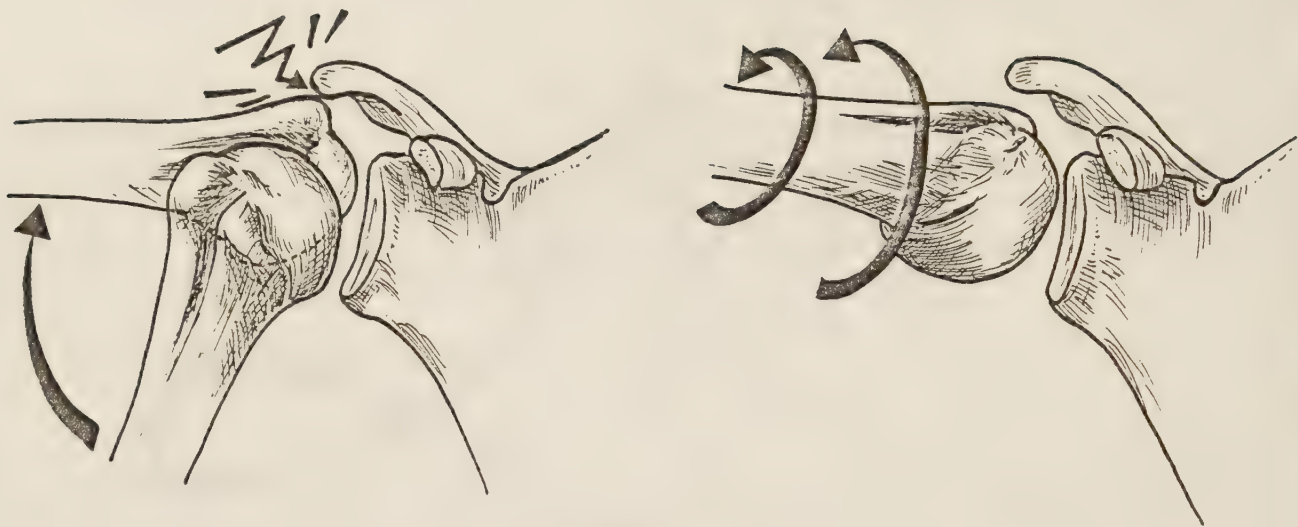
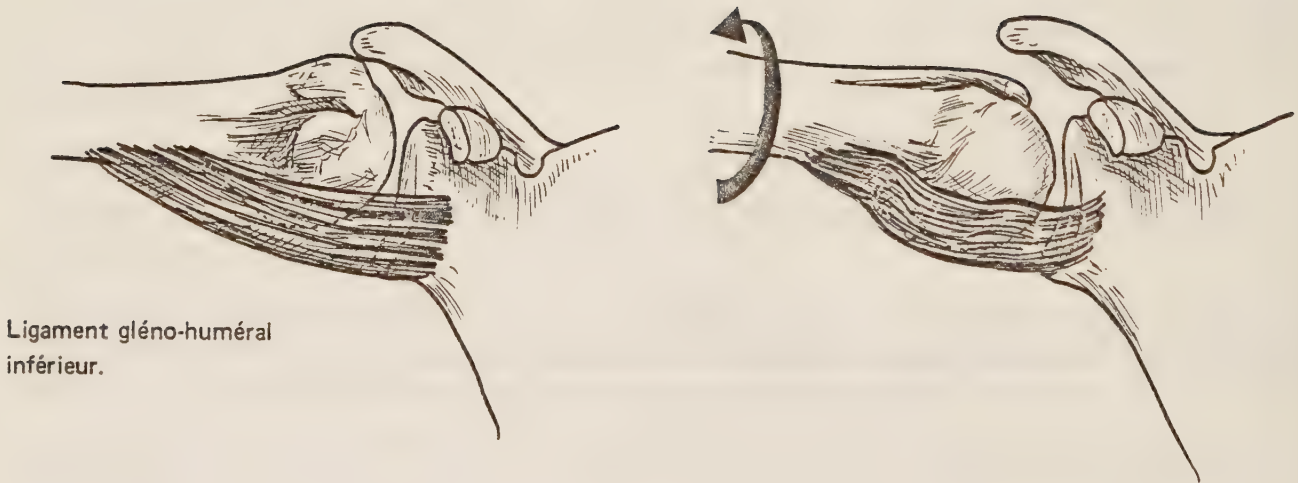


FIGURE 51



Ligament gléno-huméral
inférieur.

FIGURE 52

40-50° d'amplitude dans la scapulo-humérale). On trace ainsi la trajectoire du C.I.R. Cette trajectoire est légèrement différente si les études sont réalisées sur le cadavre (Figure 53) ou sur le vivant (Figure 54). Dans ce dernier cas, les C.I.R. sont plus dispersés, du moins au cours de la première partie du mouvement ce qui traduit une plus grande "laxité" articulaire chez le vivant.

Cette trajectoire peut être remplacée par une nouvelle grandeur : le cercle de dispersion, centré au barycentre de la trajectoire et dont le rayon est égal à la moyenne des distances du centre à chaque C.I.R. L'articulation devient alors assimilable à une rotule tournant autour d'un point situé quelque part dans le cercle de dispersion (Figure 52). Cette représentation ne tient cependant pas compte de l'allure de la trajectoire ni surtout de la discontinuité en 3-4. En effet, si l'on fait intervenir les points intermédiaires on obtient non pas un cercle de dispersion mais deux : l'un avant la discontinuité, l'autre après la discontinuité (Figures 53-54).

En pratique on peut assimiler l'articulation scapulo-humérale (A. Humeri) à deux articulations au cours du mouvement : (Figure 55).

- de 0 à 50° (dans la scapulo-humérale) la tête humérale tourne autour d'un point qui se trouve quelque part à l'intérieur du cercle de centre C_1 qui se projette dans la moitié inférieure de la tête humérale.
- de 50 à 90° (dans la scapulo-humérale) la tête humérale tourne autour d'un point situé quelque part à l'intérieur du cercle de centre C_2 qui se projette dans la moitié supérieure de la tête humérale.

Il faut donc retenir de cette étude :

- D'une part, l'existence de deux zones de concentration des C.I.R.
- D'autre part, l'existence d'une discontinuité entre ces deux zones.

Comment interpréter ces faits ? c'est très difficile et pour le moment nous ne pouvons véritablement que les constater sans pouvoir en donner d'explication :

— Nous avons pensé après les études faites sur le cadavre que les deux zones de concentration des C.I.R. correspondaient aux deux centres de courbure de la tête humérale dans le plan frontal. C'est possible mais comment expliquer que in vivo dans certains cas le centre de concentration des C.I.R. inférieur ne corresponde plus au centre de courbure inférieur de la tête puisqu'il est situé presque sur l'interligne articulaire (Figure 54) ?

— Nous avons pensé après les études réalisées in vivo que les deux zones de concentration des C.I.R. correspondaient à la mise en jeu de deux groupes musculaires différents et que la discontinuité serait en rapport avec des modifications qui pourraient se produire dans le fonctionnement de certains muscles. Cette explication est possible mais pour la prouver il faudra coupler les études cinématiques avec des enregistrements électromyographiques. C'est ce que nous nous proposons de réaliser ultérieurement.

De toute façon il devient alors difficile d'expliquer les deux zones de concentration des C.I.R. sur le cadavre où les muscles n'interviennent pas.

— Il est d'autre part, possible que les deux explications soient valables. Sur le cadavre il s'agirait d'un phénomène passif lié au profil anatomique des surfaces articulaires ; sur le vivant d'un phénomène actif d'origine musculaire qui aurait pour but de recentrer la tête dans la glène. De toute façon dans les deux cas intervient probablement un phénomène anatomique (courbure de la tête, mise en jeu de formations ligamentaires passives ou autres) puisque la discontinuité se situe toujours autour de 50° d'amplitude dans la scapulo-humérale (A. Humeri).

ARTICULATION SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERI)

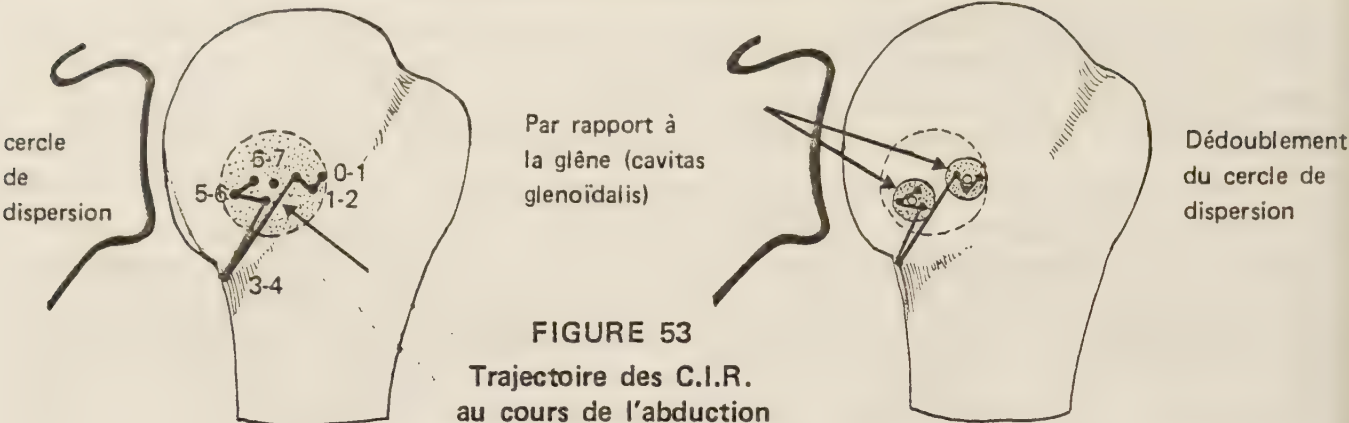


FIGURE 53
Trajectoire des C.I.R.
au cours de l'abduction
(expérience sur le cadavre)

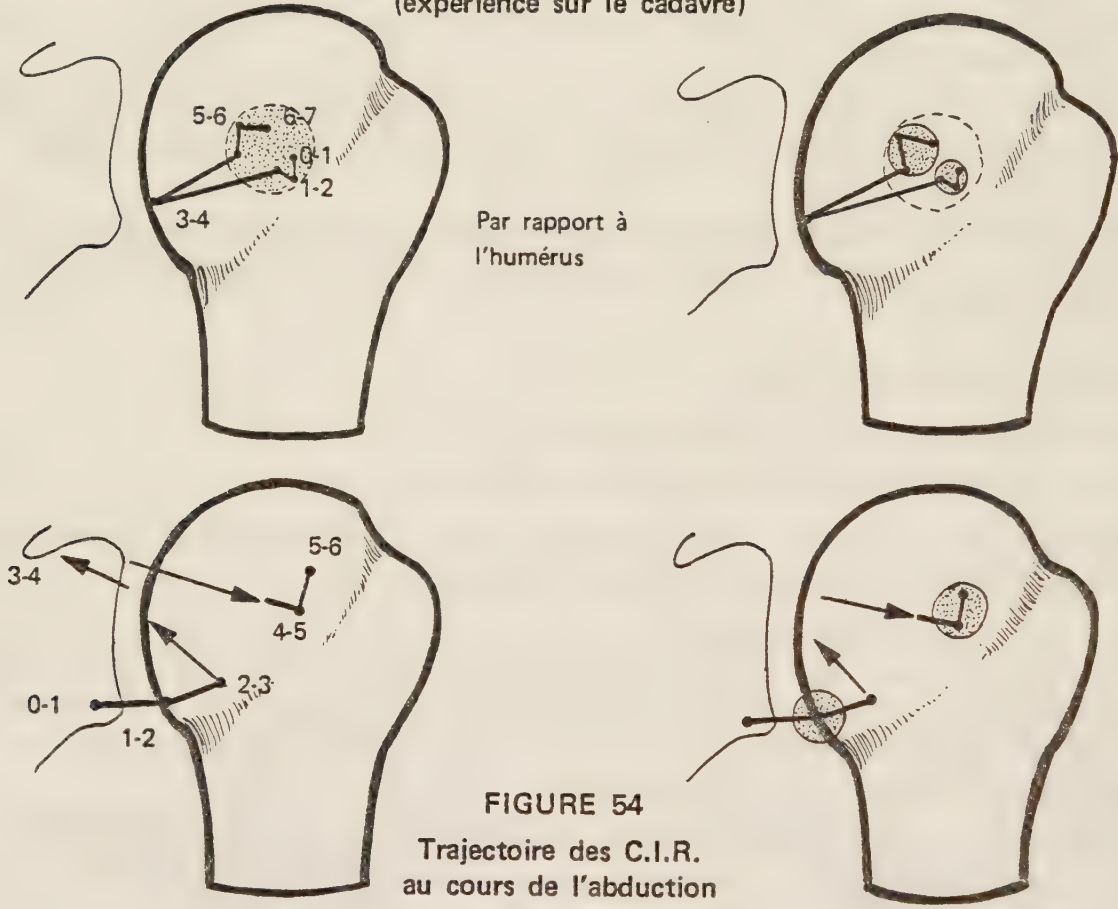


FIGURE 54
Trajectoire des C.I.R.
au cours de l'abduction
(in vivo)

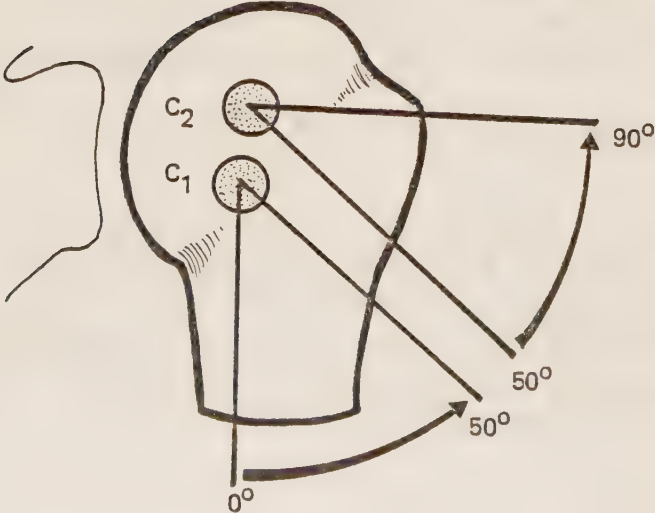


FIGURE 55
Les deux zones de concentration
des C.I.R. au cours de l'abduction

2. Flexion :

Au cours de la flexion l'humérus tourne autour d'un axe transversal dans le plan sagittal. La rotation de l'humérus sur l'omoplate est de 80 à 90° . A cette rotation frontale s'associe une rotation axiale interne sans laquelle le bras ne pourrait être porté au zénith. Celle-ci permet au trochiter (tuberculum majus) de passer sous le ligament acromio-coracoïdien (coraco acromiale) et de détendre le ligament gléno-huméral inférieur.

Le centre de rotation du mouvement :

Nous avons considéré comme un seul mouvement continu le mouvement qui fait passer le bras de la flexion maximum (position 1) à l'extension maximum (position 8). Nous exposerons donc dans ce paragraphe **les résultats concernant la cinématique de la flexion et de l'extension** au niveau de la scapulo-humérale. L'étude du mouvement est réalisée dans le même esprit que celle de l'abduction et nous avons éliminé la composante rotatoire interne pour ne retenir que le mouvement plan sagittal.

On remarque au niveau de la trajectoire l'absence de discontinuité notable (sauf une très discrète en position 1-2). On ne retrouve donc qu'un cercle de dispersion qui se projette (Figure 56) :

- au niveau de l'humérus à la partie inférieure de la tête humérale à égale distance du bord antérieur et du bord postérieur.
- au niveau de l'omoplate (scapula) dans la moitié supérieure de la glène (cavitas glenoidalis).

3. Extension :

Au cours de l'extension du bras, l'humérus tourne autour d'un axe transversal dans le plan sagittal. La rotation de l'humérus sur l'omoplate est de 25 à 30° . C'est un mouvement plan strict puisque ne s'y associe aucune rotation axiale. Nous ne reparlerons pas du centre de rotation du mouvement puisque ce problème a été exposé précédemment (cf. cinématique de la flexion).

4. Rotation interne :

Au cours de la rotation interne du bras l'humérus tourne autour de son axe longitudinal vertical si le bras est le long du tronc. La rotation se fait alors dans un plan horizontal. Dans ce cas la rotation de l'humérus sur l'omoplate est de $80-90^{\circ}$.

Le centre de rotation du mouvement :

Comme nous l'avons fait pour la flexion - extension nous avons considéré comme un seul mouvement continu le mouvement qui fait passer le bras de la rotation interne maximum (position 1) à la rotation externe maximum (position 8). Nous exposerons donc dans ce paragraphe **les résultats concernant la cinématique de la rotation interne et de la rotation externe** au niveau de la scapulo-humérale. Cette étude n'est pas, pour le moment, aussi approfondie que celle des mouvements précédents car sa réalisation pratique est difficile ; les résultats que nous rapportons concernent uniquement des études faites sur le cadavre. C'est pour cela que nous ne présentons que la trajectoire des C.I.R., au cours du mouvement tel qu'on l'a défini précédemment. Cette trajectoire (Figure 57) se projette :

- au niveau de l'omoplate (scapula) en regard de la glène (cavitas glenoidalis) avec une forte concentration sur l'axe frontal de l'os.
- au niveau de l'humérus sur la moitié externe de la tête humérale avec une forte concentration des C.I.R. dans une zone située à égale distance du bord antérieur et du bord postérieur de la tête et à l'aplomb de la corticale diaphysaire interne.

Quand on s'approche de la position de repos, le C.I.R. (4-5) s'éloigne de la zone de contact

ARTICULATION SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERI)

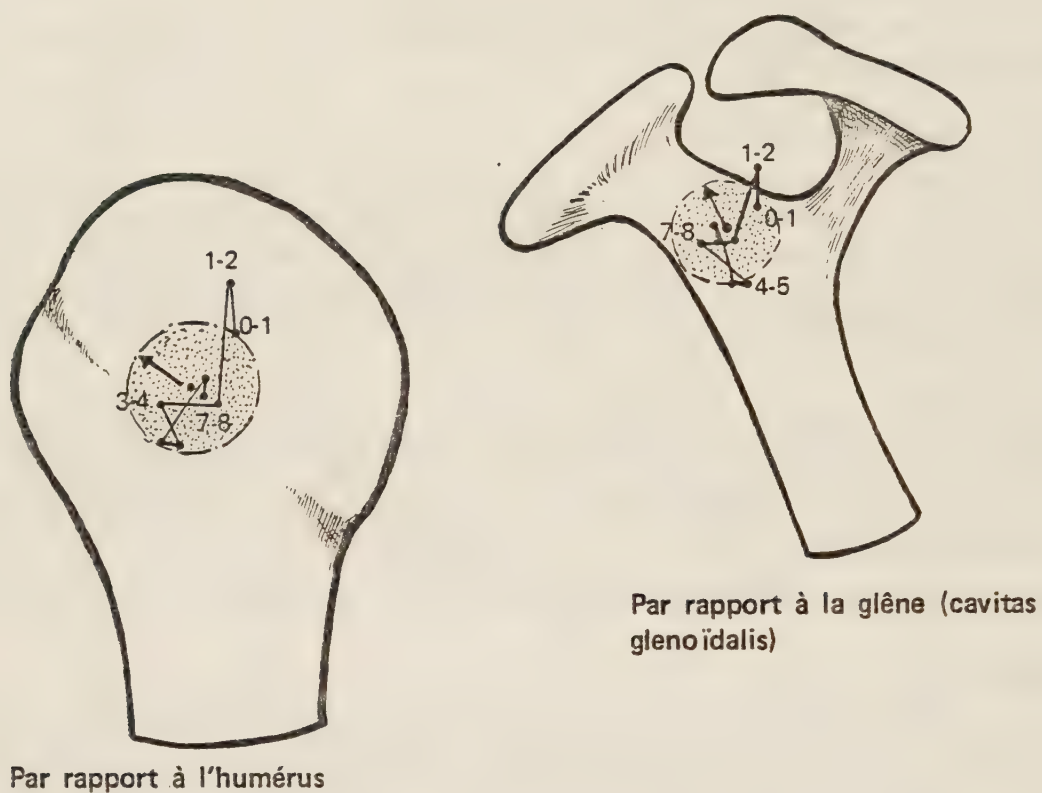


FIGURE 56

Zone de concentration des C.I.R. au cours de la flexion-extension
(position 0 : flexion maximum, position 8 : extension maximum)

ARTICULATION SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERI)



Par rapport à la glène (cavitas glenoïdalis)



Par rapport à l'humérus

FIGURE 57

Trajectoire des C.I.R. au cours des mouvements de rotation
(position 1 : rotation interne maximum, position 8 : rotation externe maximum).

tête - glène ce qui traduit une translation passagère de la tête humérale en dehors, l'éloignant provisoirement de la glène (cavitas glenoidalis).

5. Rotation externe :

Comme au cours de la rotation interne du bras, au cours de la rotation externe l'humérus tourne autour de son axe longitudinal vertical si le bras est le long du corps. Elle se fait alors dans un plan horizontal. Dans ce cas la rotation de l'humérus sur l'omoplate (scapula) est de 30° . Nous ne reviendrons pas sur le centre de rotation du mouvement que nous avons étudié au paragraphe précédent avec la rotation interne.

II – ARTICULATION STERNO-CLAVICULAIRE (A. STERNOCLAVICULARIS).

1. Abduction :

Au cours de l'abduction du bras la clavicule (clavicula) se déplace dans les trois plans de l'espace (Figure 58).

- Dans le plan frontal : la rotation frontale de la clavicule fait décrire à son extrémité externe un arc de cercle dont l'amplitude est variable suivant les auteurs : 32° pour de la CAFFINIERE, 20° pour INMAN, 28 à 33° pour CONWAY. Nous l'avons trouvé de 40° avec un C.I.R. qui se déplace dans une zone rectangulaire située au niveau du quart interne de la clavicule. La rotation de la clavicule commence dès le début du mouvement.
- Dans le plan horizontal : la rotation horizontale de la clavicule autour d'un axe vertical déplace en arrière son extrémité externe qui décrit ainsi un arc de cercle de 27° pour de la CAFFINIERE, de 10 à 11° pour CONWAY. Nous l'avons trouvé de 40° avec des C.I.R. qui sont situés au niveau de l'articulation.
- Dans le plan sagittal: la rotation axiale de la clavicule oriente sa face inférieure en bas et en avant. Son amplitude serait de 27° pour de la CAFFINIERE, 40° pour INMAN. Elle est de 28° pour nous.

Il existe donc trois degrés de liberté au niveau de cette articulation.

2. Flexion :

L'articulation présente des mouvements dans les trois plans de l'espace (Figure 59) :

- Dans le plan frontal : la rotation frontale de la clavicule fait décrire à son extrémité externe un arc de cercle qui serait de 15° pour INMAN. Pour nous cette rotation nous a paru très faible et il s'agit plutôt d'une "translation" en haut et en dedans avec des C.I.R. à l'infini.
- Dans le plan horizontal: de même il s'agit d'une "translation" en arrière et en dehors avec des C.I.R. à l'infini.
- Dans le plan sagittal: la rotation axiale de la clavicule serait de 40° pour INMAN, elle n'est que de 10° pour nous.

3. Extension :

- Dans le plan frontal: on constate pendant la première moitié du mouvement (de 0 à 25°) une rotation frontale de la clavicule autour de C.I.R. situés au niveau de sa partie externe, qui fait donc décrire un arc de cercle à sa partie interne de quelques degrés. Au cours de la deuxième moitié du mouvement (de 25 à 50°) la clavicule revient à sa position initiale de repos.
- Dans le plan horizontal : la clavicule effectue de la même façon deux rotations successives mais de sens inverse et d'amplitude égale qui finalement s'annulent.

ARTICULATION STERNO-CLAVICULAIRE
(A. sternoclavicularis)

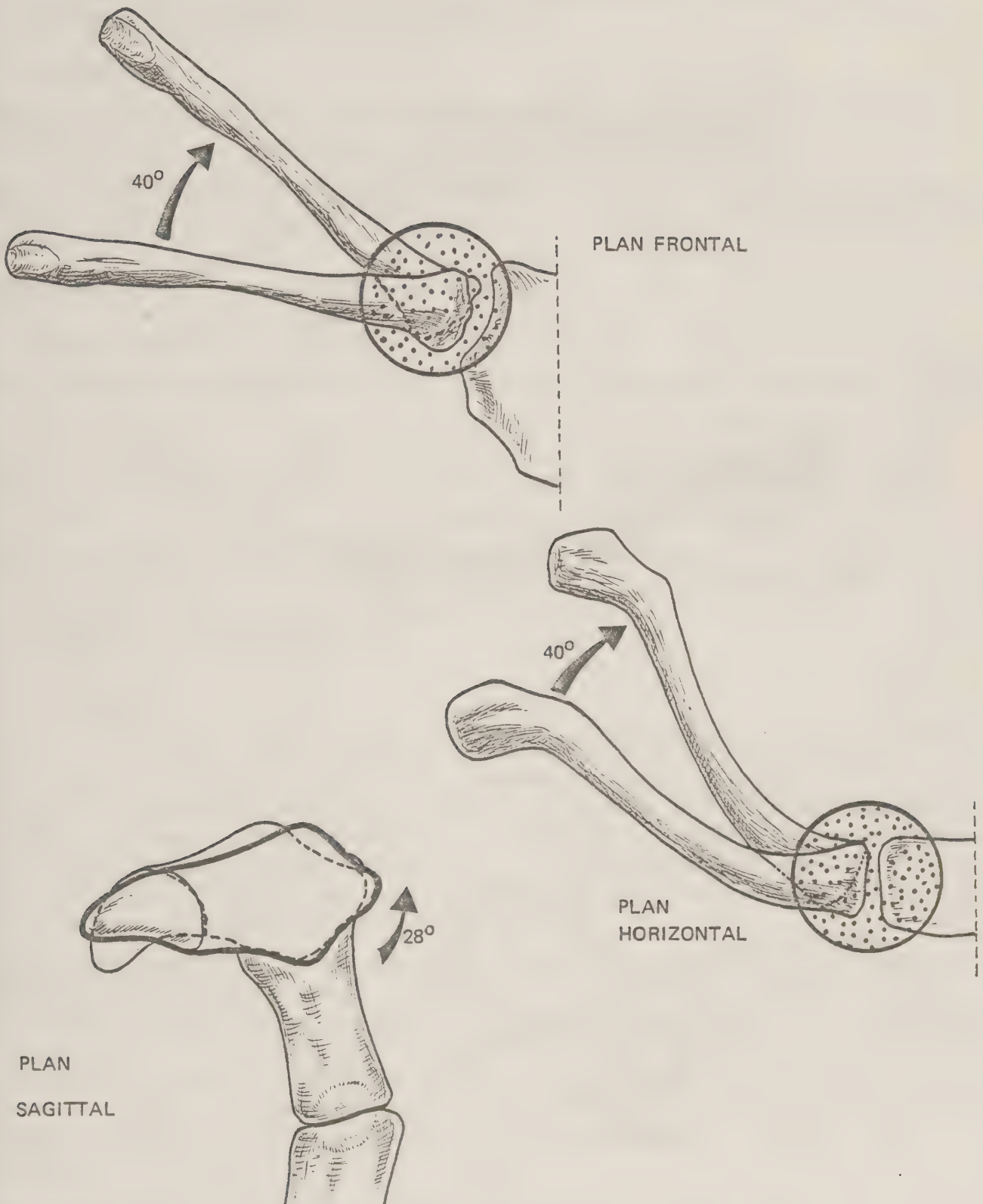


FIGURE 58

Etude cinématique au cours de l'abduction
(les zones hachurées sont les zones de concentration des C.I.R.)

ARTICULATION STERNO-CLAVICULAIRE
(A. sternoclavicularis)

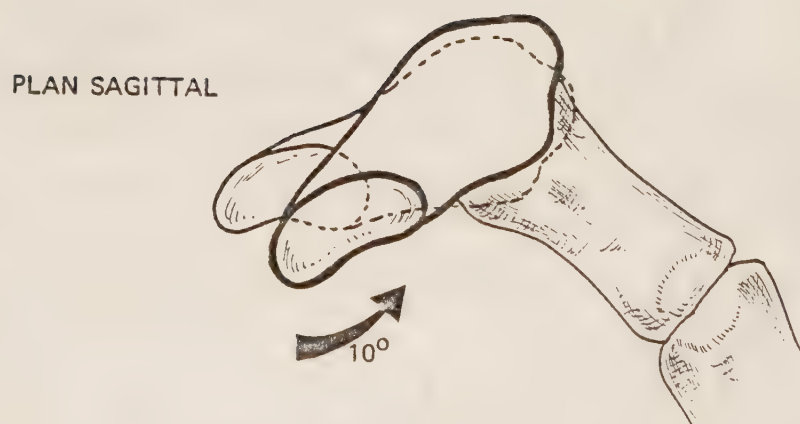
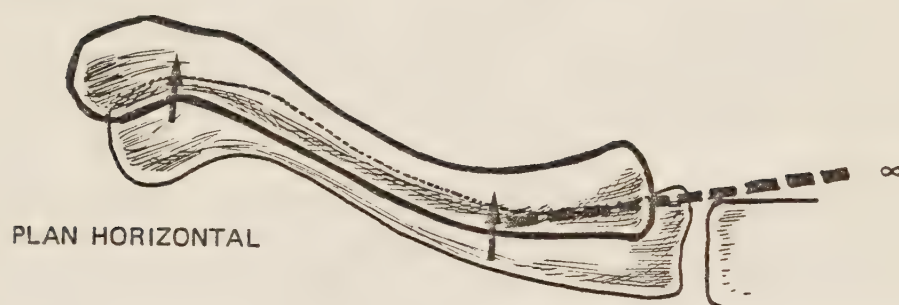


FIGURE 59

Etude cinématique au cours de la flexion

- Dans le plan sagittal: par contre on constate une rotation axiale de 45° de la clavicule (clavicula) de telle sorte qu'en fin de mouvement sa face inférieure regarde en bas et en arrière.

Au cours de l'extension (ou retropulsion) du bras on ne constate finalement au niveau de cette articulation qu'une rotation axiale de la clavicule.

4. Rotation interne :

- Dans le plan frontal: on constate une discrète translation en dehors de la clavicule avec des C.I.R. à l'infini.
- Dans le plan horizontal: il se produit une minime rotation horizontale de la clavicule dont la partie externe se déplace en arrière. Les C.I.R. se projettent au niveau de l'extrémité interne de la clavicule.
- Dans le plan sagittal : il n'y a pas de rotation axiale.

5. Rotation externe :

- Dans le plan frontal : il se produit une minime translation en dedans de la clavicule avec un C.I.R. à l'infini.
- Dans le plan horizontal : on constate une discrète rotation horizontale de la clavicule autour de C.I.R. qui se projettent sur son quart interne. L'extrémité externe de la clavicule se porte alors en arrière.
- Dans le plan sagittal : la rotation axiale de la clavicule, dont l'amplitude est de 7° oriente sa face inférieure en bas et en avant.

III – ARTICULATION SCAPULO-THORACIQUE.

1. Abduction :

Comme la clavicule l'omoplate (scapula) se déplace dans les trois plans de l'espace (Figure 60).:

- Dans le plan frontal : le pivotement (ou rotation frontale) de l'omoplate est bien connu. C'est le classique mouvement de sonnette bien décrit par DUCHENNE de BOULOGNE qui fait tourner la pointe de l'omoplate de dedans en dehors. L'amplitude de cette rotation varie, là aussi suivant les auteurs : 38° pour de la CAFFINIÈRE, 25° pour STRASSER, 50 à 55° pour SOUTOUL, 30 à 50° pour nous. Cette rotation commence dès le début du mouvement, elle se fait autour de C.I.R. qui se déplacent au niveau de son bord spinal.
- Dans le plan horizontal : le roulement horizontal (ou rotation horizontale) oriente vers l'avant la glène (cavitas glenoidalis). Pour de la CAFFINIÈRE il se produit jusqu'à 90° d'abduction une rotation de 10° qui oriente la glène vers l'arrière, au-delà de 90° la rotation s'inverse permettant une orientation de 6° vers l'avant. Pour nous aussi le mouvement se passe en deux temps mais de 0 à 90° d'abduction on constate une translation en arrière et en dedans de l'omoplate avec des C.I.R. à l'infini ; au-delà de 90° une rotation de 30° qui oriente la glène vers l'avant. Cette rotation se fait autour de C.I.R. situés en arrière du milieu de l'épine de l'omoplate (spina scapulae).
- Dans le plan sagittal : le roulement sagittal (ou rotation sagittale) déplace la pointe de l'omoplate d'avant en arrière. Son amplitude est de 23° pour de la CAFFINIÈRE, 17° pour nous.

Si le mouvement de sonnette est bien connu depuis DUCHENNE de BOULOGNE les deux autres le sont moins. Ils sont pourtant importants car ils permettent de comprendre qu'en fin de mouvement la glène présente son bord antérieur au trochiter (tuberculum majus) et non pas son bord supérieur.

ARTICULATION SCAPULO-THORACIQUE

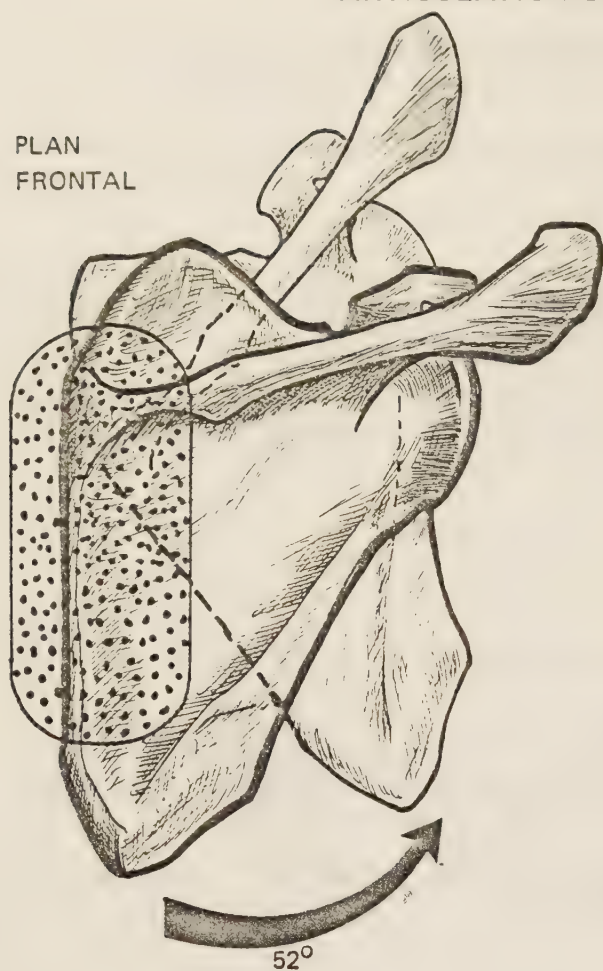
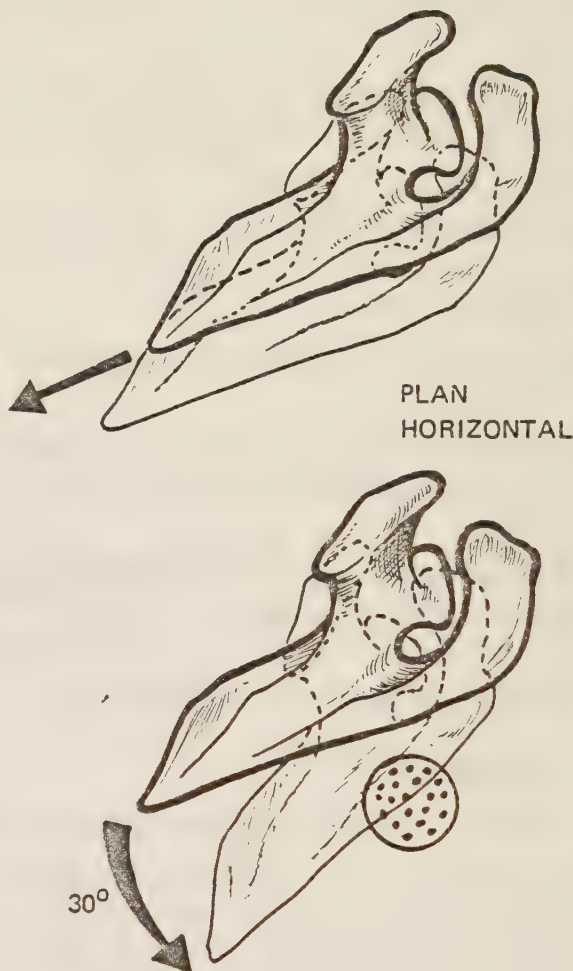
PLAN
FRONTALPLAN
HORIZONTALPLAN
SAGITTAL

FIGURE 60

Etude cinématique au cours de
l'abduction (les zones hachurées sont des zones
de concentration des C.I.R.)

ARTICULATION SCAPULO-THORACIQUE

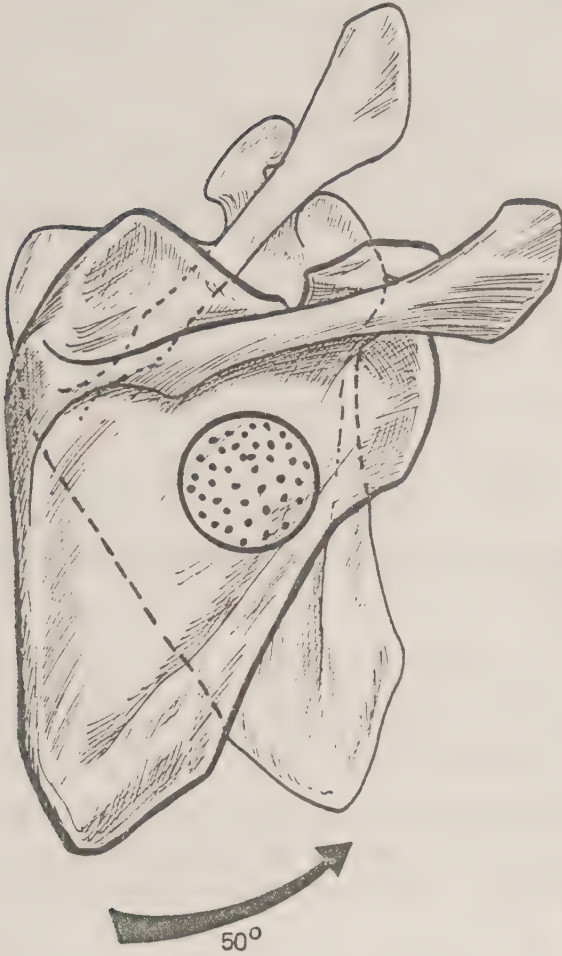
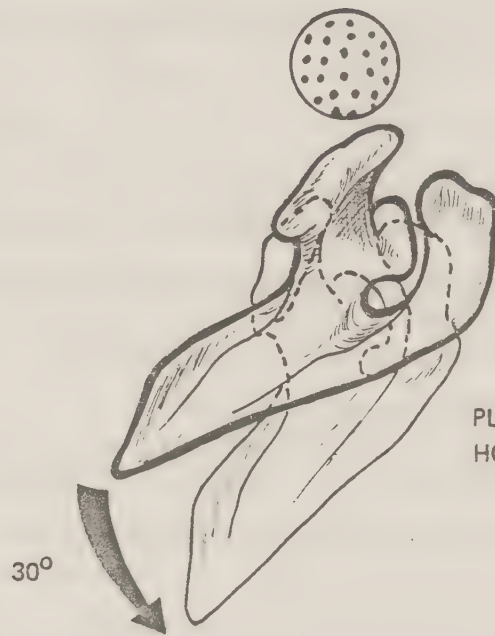
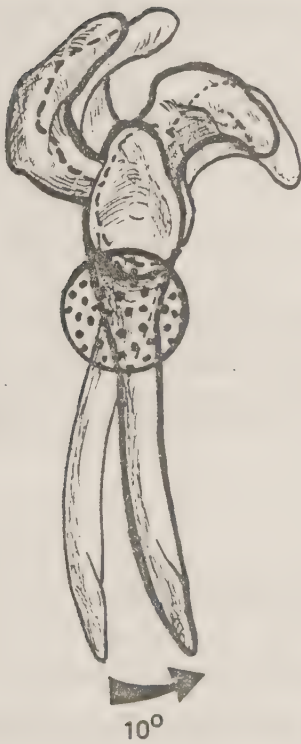
PLAN
FRONTALPLAN
HORIZONTALPLAN
SAGITTAL

FIGURE 61

Etude cinématique au cours de la flexion
(les zones hachurées sont des zones de concentration des C.I.R.)

2. Flexion :

Comme au cours de l'abduction, l'omoplate se déplace dans les trois plans de l'espace (Figure 61)

- Dans le plan frontal : le pivotement (ou rotation frontale) autour d'un axe antéro-postérieur correspond à un mouvement de sonnette identique à celui observé dans l'abduction. Son amplitude est de 50° : très faible (10°) jusqu'à 90° de flexion du bras il devient plus important au-delà (40°). La rotation se fait autour de C.I.R. qui se déplacent au milieu de la fosse sous-épineuse.
- Dans le plan horizontal : le roulement horizontal (ou rotation horizontale) oriente vers l'avant la glène (cavitas glenoidalis). Il se fait autour de C.I.R. qui se déplacent en avant de la glène et son amplitude est de 30° .
- Dans le plan sagittal : le roulement sagittal (ou rotation sagittale) de l'omoplate déplace sa pointe vers l'avant. Son amplitude est de 35° .

Comme pour l'abduction les déplacements de l'omoplate (scapula) sont tels qu'en fin de flexion elle présente au trochiter (tuberculum majus) non pas le bord supérieur de la glène (cavitas glenoidalis) mais son bord antérieur.

3. Extension :

- Dans le plan frontal : le pivotement (ou rotation frontale) de l'omoplate (scapula) est faible et l'on constate plutôt une discrète translation en haut et en arrière.
- Dans le plan horizontal : le roulement horizontal (ou rotation horizontale) oriente vers l'avant la glène de l'omoplate. La rotation est de l'ordre de 8° , elle se fait autour de C.I.R. qui se projettent sur la partie externe de l'épine (spina scapulae) en arrière de la glène (cavitas glenoidalis).
- Dans le plan sagittal : l'omoplate reste fixe.

4. Rotation interne :

- Dans le plan frontal : on constate une discrète translation en dehors de l'omoplate (scapula) sur le thorax.
- Dans le plan horizontal : un roulement horizontal (ou rotation horizontale) de quelques degrés tend à orienter vers l'avant la glène (cavitas glenoidalis)
- Dans le plan sagittal : il n'y a pas de roulement.

5. Rotation externe :

- Dans le plan frontal : un discret pivotement de 5° déplace la pointe de l'omoplate en dedans. Cette rotation se fait autour de C.I.R. situés en regard de la partie moyenne du pilier externe.
- Dans le plan horizontal : un minime roulement horizontal oriente vers l'avant la glène (cavitas glenoidalis).
- Dans le plan sagittal : on ne constate aucun déplacement de l'omoplate (scapula)

IV – ARTICULATION ACROMIO-CLAVICULAIRE (A. ACROMIOCLAVICULARIS).

1. Abduction :

Elle présente aussi des mouvements dans les trois plans de l'espace (Figure 62) :

- Dans le plan frontal : on constate une rotation de la clavicule (clavicula) sur l'omoplate (scapula) ou inversement qui tend à ouvrir l'angle omo-claviculaire frontal (cet angle est formé par une

droite qui se superpose à l'épine de l'omoplate et une droite qui correspond à l'axe de la clavicule). Cette rotation atteint 15° - 20° pour INMAN, 7 à 8° pour CONWAY ; nous l'avons trouvée de 10° avec des C.I.R. qui se déplacent au dessus du quart externe de la clavicule.

- Dans le plan horizontal : on constate une rotation qui tend à ouvrir l'angle omo-claviculaire de 70° avec des C.I.R. qui se déplacent au sommet de cet angle.
- Dans le plan sagittal : il se produit une rotation axiale de la clavicule par rapport à l'omoplate (ou inversement) de 45° .

L'amplitude des mouvements de cette articulation est donc importante : comme la sterno-claviculaire (A. sternoclavicularis) elle présente trois degrés de liberté.

2. Flexion :

L'articulation présente comme dans l'abduction des mouvements dans les trois plans de l'espace (Figure 63) :

- Dans le plan frontal : il se produit une ouverture de l'angle omo-claviculaire frontal de 15 - 20° pour INMAN, de 10° pour nous avec des C.I.R. situés au dessus du quart externe de la clavicule.
- Dans le plan horizontal : l'angle omo-claviculaire tend à s'ouvrir de 20° et la rotation de la clavicule par rapport à l'omoplate se fait autour de C.I.R. qui se projettent sur la moitié de la clavicule.
- Dans le plan sagittal : la rotation axiale de la clavicule sur l'omoplate (ou inversement) est de 45° .

Là encore il faut remarquer l'importance des mouvements au niveau de cette articulation au cours de la flexion du bras.

3. Extension :

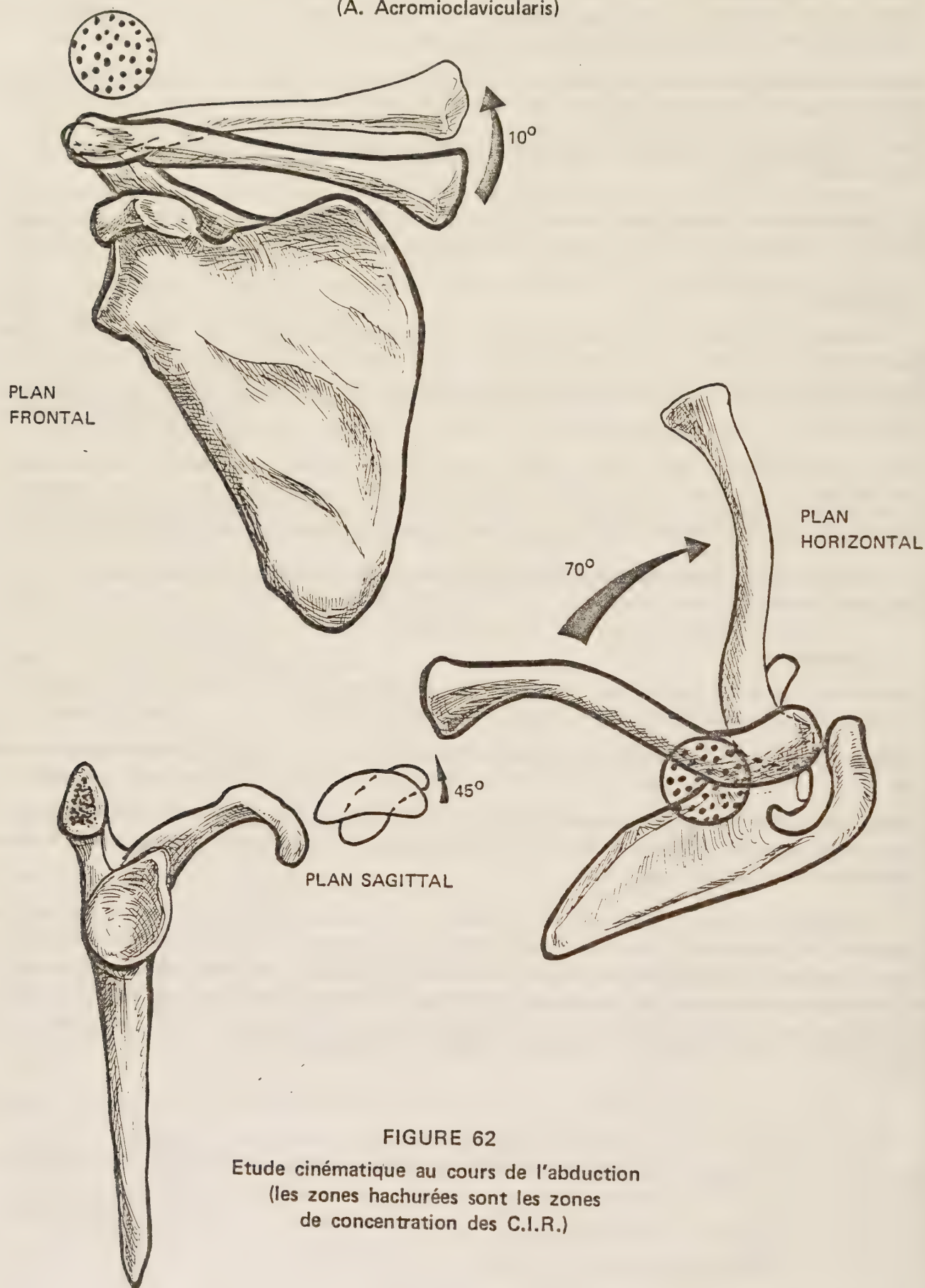
- Dans le plan frontal : on constate une fermeture de l'angle omo-claviculaire frontal de 11° autour de C.I.R. qui se projettent au dessus du quart externe de la clavicule.
- Dans le plan horizontal : il se produit une rotation qui tend à fermer l'angle omo-claviculaire horizontal de 10° . Celle-ci se fait autour de C.I.R. qui se déplacent sur la moitié interne de la clavicule.
- Dans le plan sagittal : l'omoplate restant fixe au cours du mouvement on retrouve dans l'acromio-claviculaire (acromio clavicularis) les 45° de rotation axiale de la clavicule constatés dans la sterno-claviculaire (sternoclavicularis).

Les résultats que nous avons obtenus au niveau de la ceinture scapulaire, en particulier ceux qui concernent les mouvements plans horizontaux aussi bien au cours de la flexion que de l'extension du bras s'opposent parfois à certaines données classiques (KAPANDJI) connues jusqu'alors. En fait, il nous semble que la rotation de l'omoplate (scapula) sur le thorax autour d'un axe vertical intervient beaucoup plus que sa translation, au sens géométrique du terme, dans le déterminisme des mouvements de l'acromio-claviculaire (acromioclavicularis) en particulier.

4. Rotation interne :

Finalement dans cette articulation au cours de la rotation interne les mouvements ne se font que dans un plan puisque dans les deux autres la clavicule et l'omoplate se déplacent dans le même sens ou ne se déplacent pas du tout. Par contre dans le plan horizontal on constate une ouverture de l'angle omo-claviculaire horizontal de 13° . La rotation se fait autour de C.I.R. qui se projettent sur la base de l'épine.

ARTICULATION ACROMIO-CLAVICULAIRE (A. Acromioclavicularis)



ARTICULATION ACROMIO-CLAVICULAIRE (A. Acromioclavicularis)

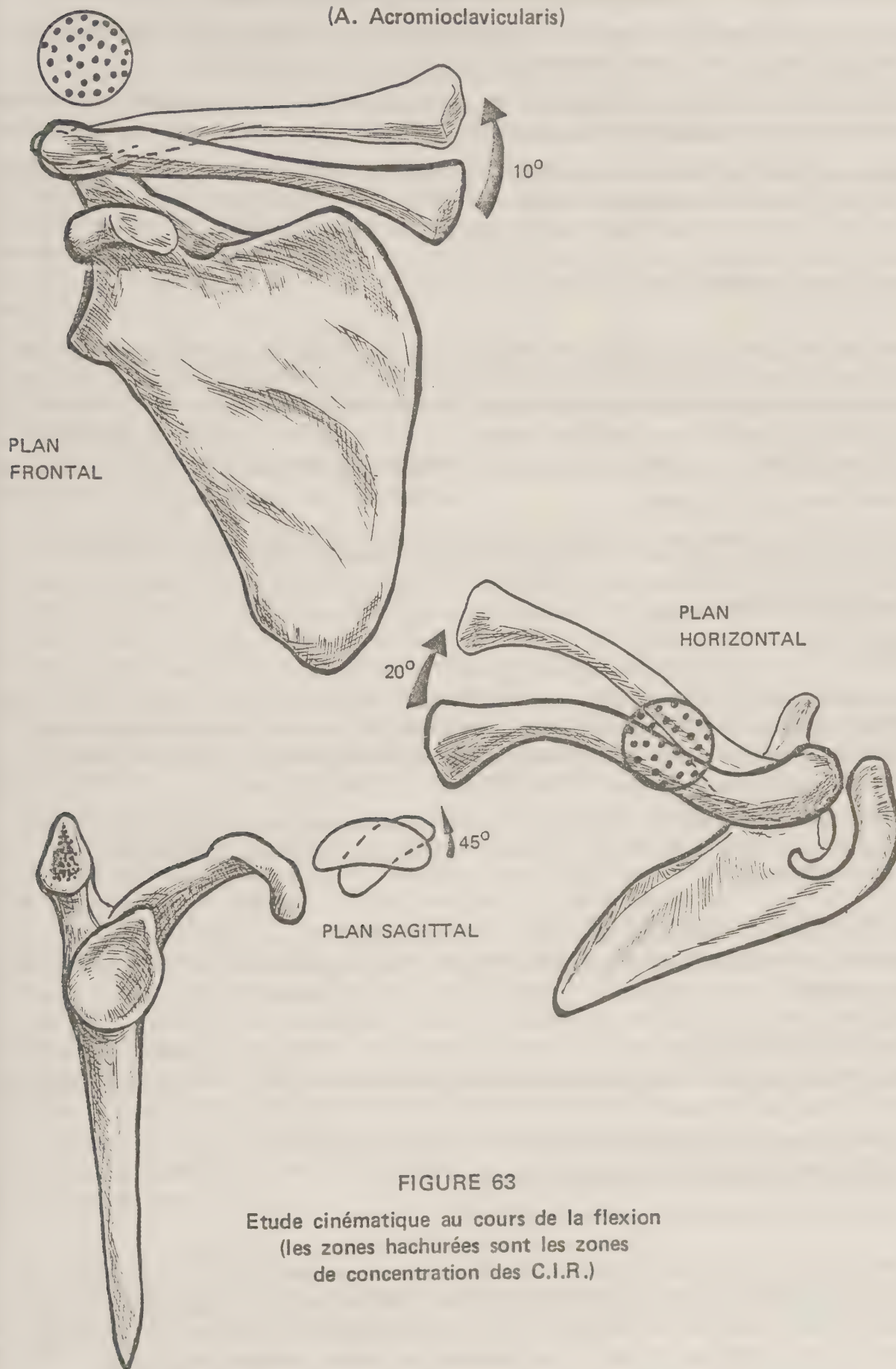


FIGURE 63

Etude cinématique au cours de la flexion
(les zones hachurées sont les zones
de concentration des C.I.R.)

5. Rotation externe :

- Dans le plan frontal: l'angle omo-claviculaire frontal augmente de 5° . La rotation se fait autour de C.I.R. situés en regard de la partie moyenne du pilier externe de l'omoplate.
- Dans le plan horizontal: l'angle omo-claviculaire horizontal s'ouvre de 7° et la rotation de la clavicule sur l'omoplate (ou inversement) se fait autour de C.I.R. situés sur le bord spinal de l'omoplate.
- Dans le plan sagittal : on retrouve dans l'acromio-claviculaire la rotation axiale de 7° de la clavicule déjà notée au niveau de la sterno-claviculaire.

B – ETUDE SYNTHETIQUE :

Toutes les articulations de l'épaule interviennent donc au cours d'un mouvement quelconque ; il faut y ajouter la participation de la colonne vertébrale (columna vertebralis). Et c'est ainsi que l'atteinte d'un des éléments du complexe articulaire va retentir sur le fonctionnement normal de l'ensemble. Dans ce chapitre nous voudrions essayer de préciser la part qui revient à chacun des éléments de ce complexe en sachant qu'on peut le diviser grossièrement en trois unités :

- l'articulation scapulo-humérale
- la ceinture scapulaire avec surtout la scapulo-thoracique, mais aussi la sterno-claviculaire et l'acromio-claviculaire
- la colonne vertébrale.

HISTORIQUE :

Les auteurs classiques (DUCHENNE de BOULOGNE, POIRIER, TESTUT, SAPPEY, PATURET) ont étudié les mouvements de l'omoplate sur le thorax mais ne précisent pas ou incomplètement la part respective des articulations scapulo-thoracique et scapulo-humérale. Il en est de même de certains auteurs plus modernes comme STRASSER, FICK, STEINDLER etc...

Il semble que ce soit INMAN (1944) qui en couplant ses études cinématiques à des études électromyographiques souligne le premier l'action simultanée des différentes articulations et en précise leur déroulement.

ETUDE SYNTHETIQUE proprement dite.

La mise en jeu des différentes unités du complexe articulaire se fait différemment suivant le mouvement considéré.

1. Au cours de l'abduction :

C'est le mouvement qui a été le mieux étudié et globalement on peut dire que si le mouvement se fait dans le plan de l'omoplate :

- 110° se passe dans la scapulo-humérale (A. humeri)
- 50 à 60° se passe dans la scapulo-thoracique
- 20 à 30° se passe dans la colonne vertébrale.

Ces trois étapes ne sont pas successives comme on l'a cru longtemps mais se superposent et s'harmonisent. Les chiffres que nous présentons sont des chiffres moyens susceptibles de variations individuelles physiologiques ou pathologiques : c'est ainsi qu'après une arthrodèse de l'épaule la scapulo-thoracique se développe et permet une abduction qui atteint souvent l'angle droit.

1) Les rapports articulation scapulo-thoracique - articulation scapulo-humérale (A. humeri) :

Depuis INMAN, SAUNDERS et ABOTT on distingue au cours du mouvement deux phases :

- l'une qui va jusqu'à 30° d'abduction (50° dans les cas que nous avons étudiés) où l'omoplate se met en mouvement dès le début mais cherche sa position d'équilibre et de stabilité qu'elle atteint de façon variable selon les individus (première partie de la courbe, Figure 64).
- l'autre où il existe un rapport constant entre les mouvements respectifs des deux articulations : on parle de **rythme scapulo-huméral**. En effet la valeur de l'angle spino-huméral (Figure 65) évolue de façon linéaire en fonction du degré d'abduction du bras. Cette courbe traduit l'évolution du mouvement dans la scapulo-humérale (A. humeri). Au cours de cette deuxième phase chaque fois que le bras s'élève de 15° : 10° de rotation se passe dans la scapulo-humérale pendant que l'omoplate pivote de 5° .

Il existe bien sûr des variations individuelles comme l'a montré SOUTOUL :

- parfois le démarrage de l'omoplate est lent et faible et devient nettement plus important à partir ou même avant 90° .
- parfois la glène s'incline vers le bas au début du mouvement, ensuite, au contraire la pente de la courbe de pivotement devient plus importante.

2) Il existe de la même façon un rapport entre les mouvements de la scapulo-humérale et les mouvements de la clavicule et INMAN a montré que jusqu'à 90° d'abduction chaque fois que le bras s'élève de 10° la clavicule s'élève de 4° . Nous pensons que la rotation de la clavicule se poursuit au delà de 90° ; par ailleurs la courbe d'évolution de l'angle claviculaire que nous avons pu tracer (Figure 66) évolue en plateau jusqu'à 50° d'abduction puis devient régulièrement ascendante.

3) La participation rachidienne se traduit par une inclinaison latérale de la colonne vertébrale (columna vertebralis) lors de l'abduction unilatérale, par une hyperlordose lombaire lors de l'abduction des deux bras.

2. Au cours de la flexion :

Globalement on peut dire que 80° à 100° se passent dans la scapulo-humérale (A. humeri), 60° se passe dans la scapulo-thoracique, 40° se passe dans la colonne vertébrale.

Là aussi ces trois étapes ne sont pas successives mais se superposent et s'harmonisent. INMAN, SAUNDERS et ABOTT ont étudié comme au cours de l'abduction les rapports entre les mouvements de l'humérus et ceux de l'omoplate : jusqu'à 60° de flexion l'omoplate cherche sa position d'équilibre, au delà il existe un rapport constant entre les mouvements respectifs des deux articulations. L'amplitude du mouvement au niveau de la scapulo-humérale évolue de façon linéaire et chaque fois que le bras s'élève de 15° : 10° se passe dans la scapulo-humérale (A. humeri), 5° dans la scapulo-thoracique. Il existe bien sûr là encore des variations individuelles.

La participation de la colonne vertébrale se traduit par une inflexion latérale et une hyperlordose lombaire lors de l'élévation unilatérale du bras et par une accentuation de la lordose lombaire lors de l'élévation des deux bras.

3. Au cours de l'extension :

La répartition du mouvement se fait de la façon suivante : 25 à 30° se passe dans la scapulo-humérale (A. humeri), 10 à 15° dans la scapulo-thoracique, 10° dans la colonne vertébrale (columna vertebralis).

Là encore les trois étapes ne sont pas successives mais se superposent et s'harmonisent.

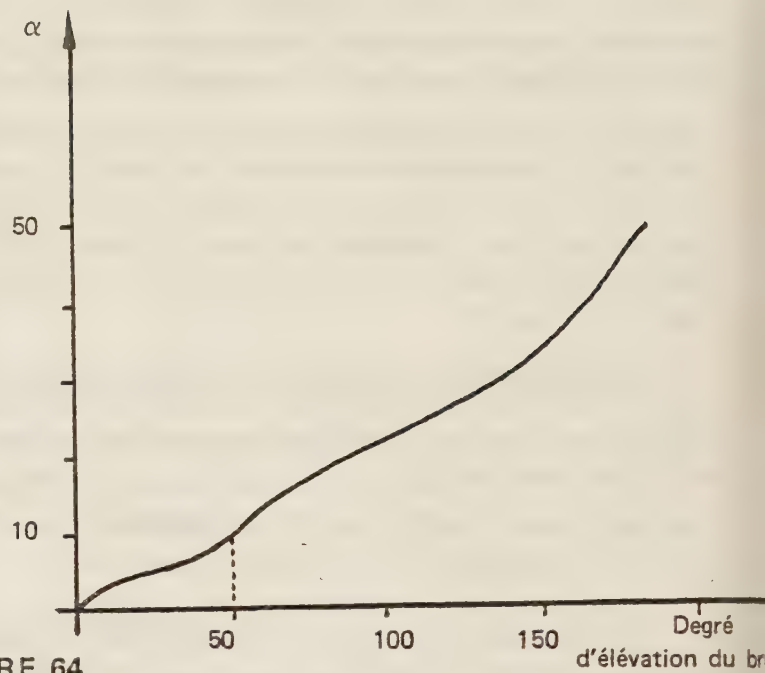


FIGURE 64

Evolution de la rotation de l'omoplate (scapula) au cours de l'abduction.

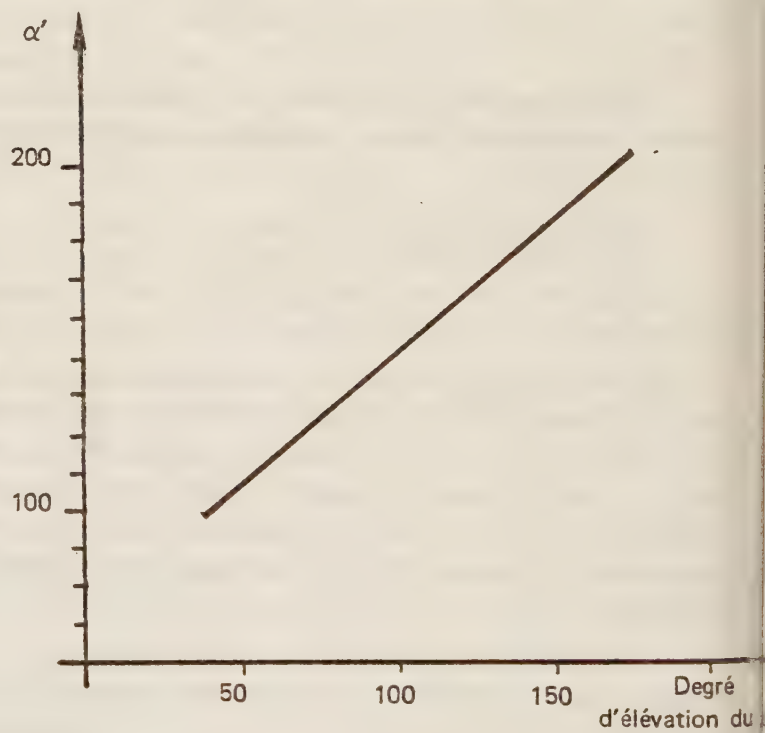
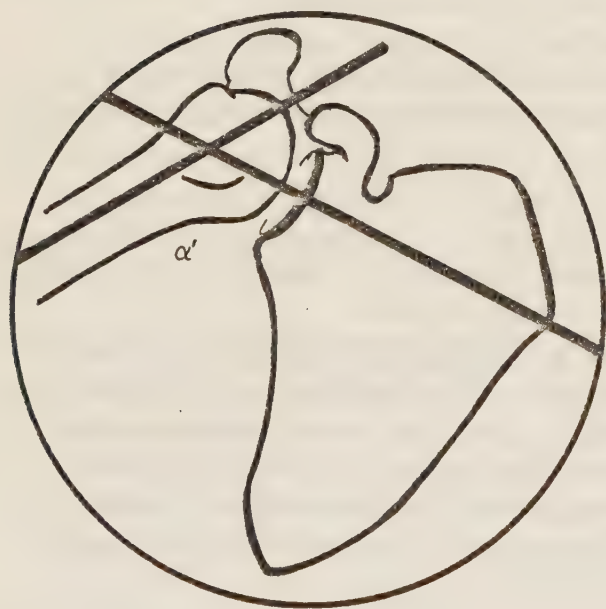


FIGURE 65

Evolution de l'angle spino-huméral au cours de l'abduction

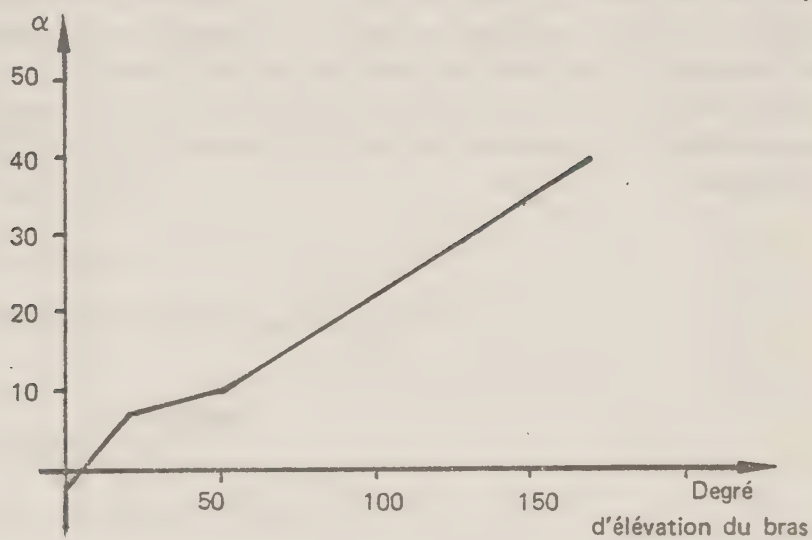
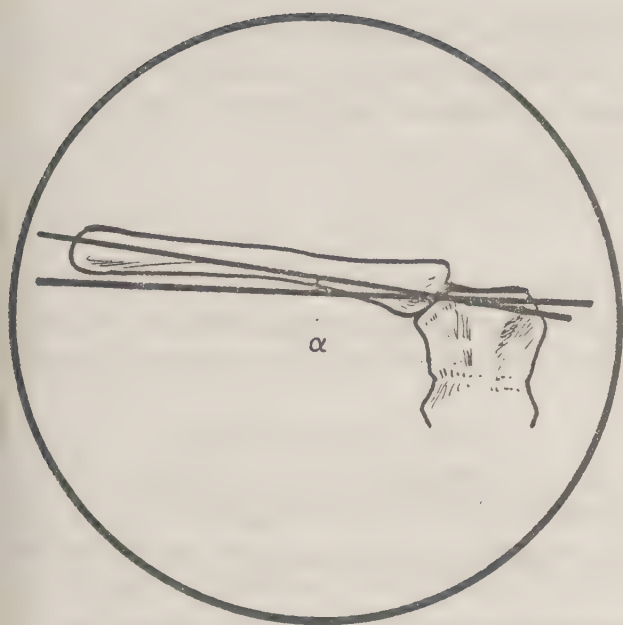


FIGURE 66

Evolution de l'angle claviculaire
au cours de l'abduction

4. Au cours de la rotation externe :

Le mouvement se répartit entre l'articulation scapulo-humérale (A. humeri) (25 à 35°) et l'articulation scapulo-thoracique (25 à 30°). Si le mouvement dépasse ses limites normales (environ 60°) il peut atteindre 85 à 90° d'amplitude grâce à une rotation homolatérale de la colonne vertébrale (columna vertebralis).

5. Au cours de la rotation interne :

Le mouvement se passe là aussi dans l'articulation scapulo-humérale (A. humeri) (80°), dans la scapulo-thoracique (10 à 20°). Si le mouvement dépasse ses limites normales (main dans le dos par exemple) il peut atteindre 110° grâce à une rotation controlatérale de la colonne vertébrale (columna vertebralis).

Cette étude cinématique nous a permis de présenter des résultats issus de la littérature et de travaux personnels. Elle concerne principalement des mouvements plans simples de l'épaule. Il ne s'agit donc pas d'une étude complète de l'ensemble des mouvements mais c'est à notre avis le premier pas vers une étude de mouvements plus complexes. Nous avons voulu surtout présenter la méthode que nous utilisons. Les résultats que nous rapportons portent sur trop peu de cas pour permettre d'établir des règles générales concernant la cinématique de l'épaule ; c'est pourquoi notre démarche n'a consisté qu'à rapporter les résultats tels qu'ils sont.

Dans l'avenir notre but sera d'accumuler un plus grand nombre de dossiers normaux ou pathologiques exploitables sur le plan cinématique et de coupler ces études cinématiques à des études électromyographiques.



C H A P I T R E I I I

PHYSIOLOGIE DES MUSCLES DE L'ÉPAULE

I — ETUDE ANALYTIQUE.

- 1 — DELTOÏDE (DELTOIDEUS)
- 2 — SUS-EPINEUX (SUPRASPINATUS)
- 3 — SOUS-SCAPULAIRE (SUBSCAPULARIS)
- 4 — SOUS-EPINEUX (INFRASPINATUS)
- 5 — PETIT ROND (TERES MINOR)
- 6 — GRAND ROND (TERES MAJOR)
- 7 — GRAND PECTORAL (PECTORALIS MAJOR)
- 8 — GRAND DORSAL (LATISSIMUS DORSI)
- 9 — LONGUE PORTION DU BICEPS (BICEPS BRACHII-CAPUT LONGUM)
- 10 — TRAPEZE (TRAPEZIUS)
- 11 — GRAND DENTELE (SERRATUS ANTERIOR)
- 12 — ANGULAIRE DE L'OMOPLATE (LEVATOR SCAPULAE)
- 13 — RHOMBOÏDE (RHOMBOIDEUS)

II — ETUDE QUANTITATIVE

METHODE

RESULTATS

- I — DECLENCHEMENT DE L'ABDUCTION
- II — DECLENCHEMENT DE LA FLEXION
- III — DECLENCHEMENT DE L'EXTENSION

III — ETUDE SYNTHETIQUE.

I — ELEVATION DU BRAS AU ZENITH

II — EXTENSION DU BRAS

III — ADDUCTION DU BRAS

IV — ROTATIONS DU BRAS



De DUCHENNE de BOULOGNE aux auteurs modernes tout le monde est d'accord pour reconnaître la complexité de la physiologie des muscles de l'épaule. Les études électromyographiques montrent, que quelque soit le mouvement tous les muscles présentent une activité, reflet de leur action motrice ou antagoniste. Leur mise en jeu combinée permet la formation de couples de forces musculaires qui interviennent au cours des mouvements comme "moteurs" et comme "stabilisateurs" des pièces articulaires. Qu'un seul élément de ces couples soit atteint et le fonctionnement normal de l'ensemble du complexe musculaire sera perturbé, compromettant ainsi la motricité et la stabilité de l'épaule.

I — ETUDE ANALYTIQUE.

1 — LE DELTOÏDE (DELTOIDEUS).

C'est le muscle abducteur du bras par excellence mais son rôle complexe n'est pas limité à ce mouvement. Plusieurs auteurs se sont efforcés de préciser le rôle respectif des différents faisceaux :

INMAN en 1944 a précisé par électromyographie les variations de l'activité déployée par le muscle : au cours de l'abduction l'activité croît jusqu'à 90° puis évolue en plateau jusqu'à 180° ; au cours de la flexion l'activité croît jusqu'à 90° , évolue en plateau de 110 à 130° puis croît à nouveau pour atteindre la même valeur qu'au cours de l'abduction à 180° (Figure 67). Mais INMAN ne fait pas de distinction entre les différents faisceaux.

Et pourtant DUCHENNE de BOULOGNE a bien décrit les multiples fonctions du deltoïde : "lorsque le membre supérieur tombe parallèlement à l'axe du tronc la contraction électrique du faisceau moyen du deltoïde élève l'humérus directement en dehors. Les autres faisceaux du deltoïde produisent de même l'élévation de l'humérus mais en portant cet os obliquement en avant et en dedans, si ce sont les faisceaux les plus internes qui se contractent, et directement en avant et en arrière, si l'excitation est portée sur les faisceaux intermédiaires à ces faisceaux les plus internes ou à ceux qui s'attachent à l'épine de l'omoplate et à l'acromion".

JONES rapporte les travaux de SCHEVING et PAULY (1959) qui en utilisant des électrodes de surface trouvent une activité du deltoïde dans tous les mouvements du bras. En flexion et rotation interne le faisceau antérieur est le plus actif, en extension et rotation externe c'est le faisceau postérieur qui est le plus actif alors qu'en abduction c'est le faisceau moyen.

GRAY a montré que les trois faisceaux abducent l'humérus. Les fibres antérieures fléchissent et permettent la rotation interne alors que les fibres postérieures étendent et tournent le bras en dehors.

Pour FICK la division anatomique du muscle en trois faisceaux n'est pas utilisable en physiologie car dans les faisceaux antérieur et postérieur existent des fibres situées soit en dehors soit en dedans de l'axe du mouvement d'abduction. Il divise donc le muscle en sept portions : I et II pour le faisceau antérieur, III pour le faisceau moyen, IV, V, VI et VII pour le faisceau postérieur (Figure 68). La valeur du moment d'action de chaque faisceau varie avec chaque position du bras ; les portions situées en dehors de l'axe du mouvement seraient abductrices, celles situées en dedans seraient adductrices. Certaines portions adductrices peuvent ainsi devenir abductrices au cours du mouvement : c'est ainsi que jusqu'à 60° d'abduction les seules portions élévatrices sont les portions II, III et IV c'est-à-dire le deltoïde moyen et les portions des faisceaux antérieur (moitié externe) et postérieur (quart externe) situées en dehors de l'axe du mouvement. Au-delà de 60° les portions I et V deviennent abductrices, c'est-à-dire la totalité du faisceau antérieur et la moitié externe du faisceau postérieur. L'action des portions I et V s'inverse donc au cours du mouvement.

JONES a étudié l'action des trois faisceaux du muscle au cours de tous les mouvements de

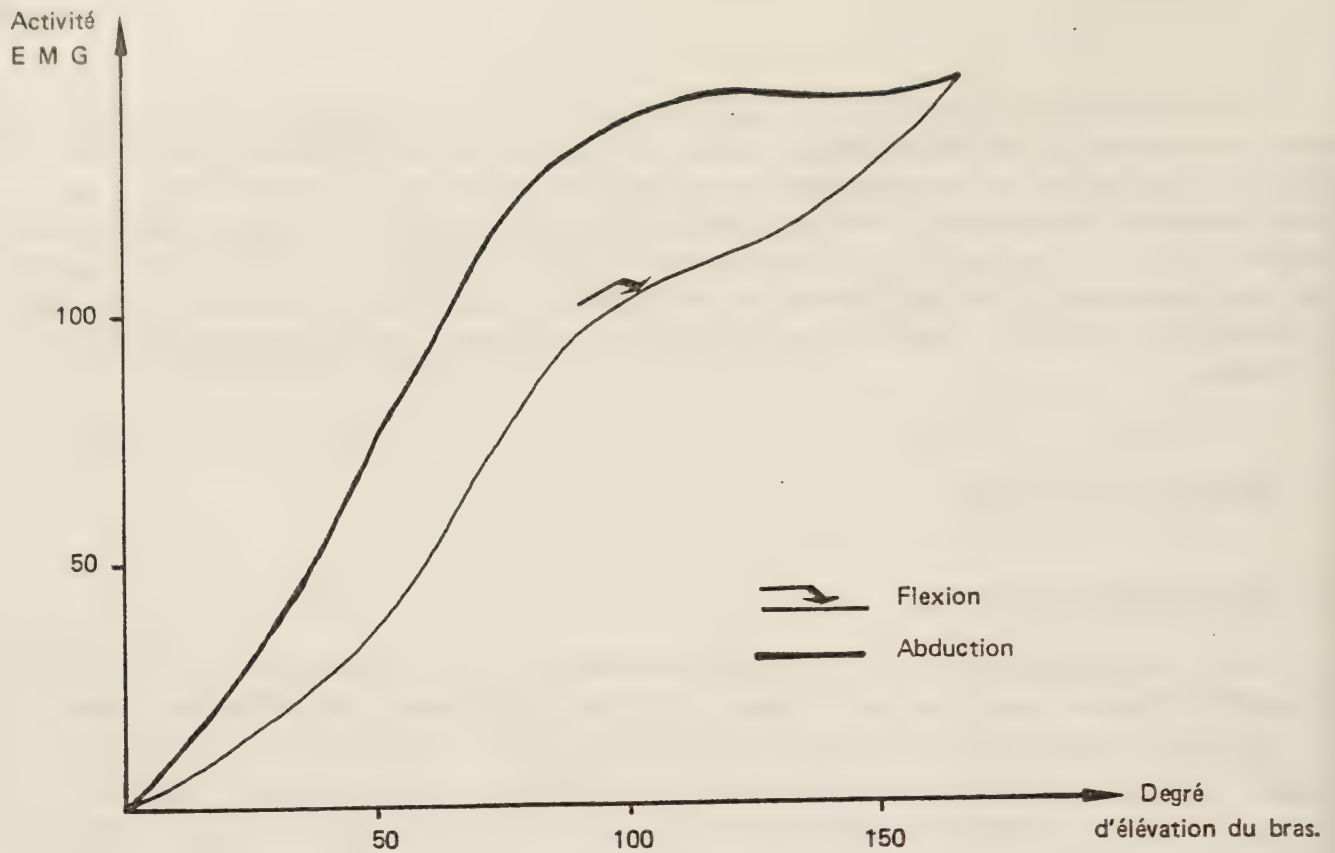


FIGURE 67

Courbe d'activité du deltoïde (deltoïdeus)
au cours de l'abduction et de la flexion

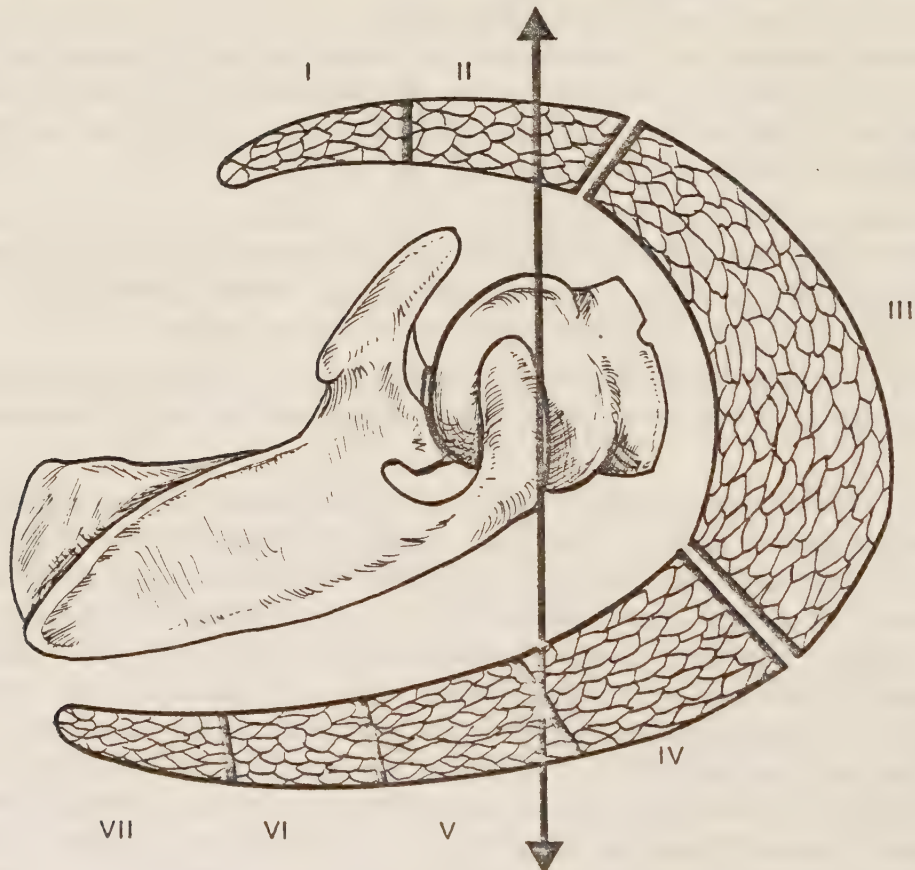


FIGURE 68

Les différents faisceaux du deltoïde (deltoïdeus)
(FICK) - Coupe horizontale -

l'épaule : le deltoïde antérieur est actif dans tous les mouvements sauf dans l'extension et dans la rotation interne ou externe, le bras étant en adduction ; le deltoïde moyen de même, est actif au cours de tous les mouvements sauf au cours de l'adduction ; enfin le deltoïde postérieur est surtout actif en extension et comme pour les autres faisceaux il est inactif en rotation externe ou interne, le bras étant en adduction.

COMTET et AUFFRAY ont étudié par électromyographie l'activité électrique du deltoïde au cours de l'abduction. Le muscle est divisé en cinq portions : antéro-interne, antéro-externe, moyen, postéro-interne, postéro-externe : **lorsque l'abduction se fait dans le plan frontal strict** les cinq faisceaux présentent une activité électrique mais leur mise en jeu n'est pas simultanée (Figure 69). Le deltoïde moyen de même que la portion postéro-externe entrent immédiatement en jeu. La mise en jeu immédiate de la portion postéro-externe s'explique par le fait qu'elle intervient pour placer l'humérus en arrière du plan de l'omoplate. La portion antéro-externe entre en activité, avec un léger retard, quant à la portion antéro-interne elle n'intervient que dans les derniers degrés. **Lorsque l'abduction se fait dans le plan de l'omoplate** (avec 30° de flexion) le deltoïde antéro-externe entre en activité immédiatement comme le deltoïde moyen. La mise en route du deltoïde antéro-interne et postéro-externe est retardée. Le deltoïde postéro-interne est inactif (Figure 70).

La rotation de l'humérus intervient sur le fonctionnement du deltoïde au cours de l'abduction : en rotation externe l'activité de la portion antéro-interne est immédiate, celle de la portion postérieure est retardée ou supprimée ; le phénomène inverse se produit en rotation interne. La rotation modifie probablement la position des fibres musculaires par rapport à l'axe d'abduction.

L'action rotatoire isolée du deltoïde a été peu étudiée et les avis divergent : pour JONES lorsque le bras est en adduction le deltoïde est peu actif sauf peut-être le deltoïde antérieur au cours d'une rotation externe contre résistance. Ce fait paraît d'ailleurs surprenant. Lorsque le bras est en abduction on note une activité du faisceau antérieur et du faisceau moyen (plus faible du faisceau postérieur) aussi bien au cours de la rotation externe que de la rotation interne. Lorsque le bras se trouve en flexion à 90° la rotation provoque une activité électrique au niveau du deltoïde moyen et du deltoïde antérieur. Pour COMTET l'action rotatrice interne ou externe du deltoïde déjà faible en adduction devient pratiquement nulle en abduction.

2 — LE SUS-EPINEUX (SUPRA SPINATUS).

Après CODMAN on a fait pendant longtemps du sus-épineux le "starter" de l'abduction ; en fait bien que sa physiologie ne soit encore qu'imparfaitement connue on sait maintenant que cette théorie est fautive.

Le sus-épineux est d'abord comme le deltoïde un abducteur du bras : on l'explique fort bien par la composante E_t de sa force E (Figure 82). Il peut à lui seul permettre l'abduction. DUCHENNE de BOULOGNE l'a montré : "par l'excitation électrique du muscle sus-épineux le bras s'élève obliquement en avant et en dehors, en même temps il tourne de dehors en dedans sur son axe longitudinal". Il rapporte d'ailleurs le cas d'un malade qui, malgré l'atrophie complète du deltoïde, était capable d'effectuer un mouvement d'abduction d'amplitude normale. COMTET et AUFFRAY présentent un cas analogue et notent au cours du mouvement une tendance à la subluxation vers l'avant de la tête humérale.

L'enregistrement électrique de l'activité du sus-épineux montre qu'il participe à plusieurs mouvements de l'épaule.

JONES constate une grande activité électromyographique pendant toute la durée de la flexion, de l'abduction et même de l'extension du bras. Au cours de la rotation interne, bras en adduction l'activité croît progressivement du début à la fin du mouvement. Par ailleurs l'activité électrique serait importante au cours de la rotation externe lorsque le bras est en abduction mais on peut se demander si celle-ci n'est pas due à l'abduction plutôt qu'à la rotation externe. En effet, le rôle

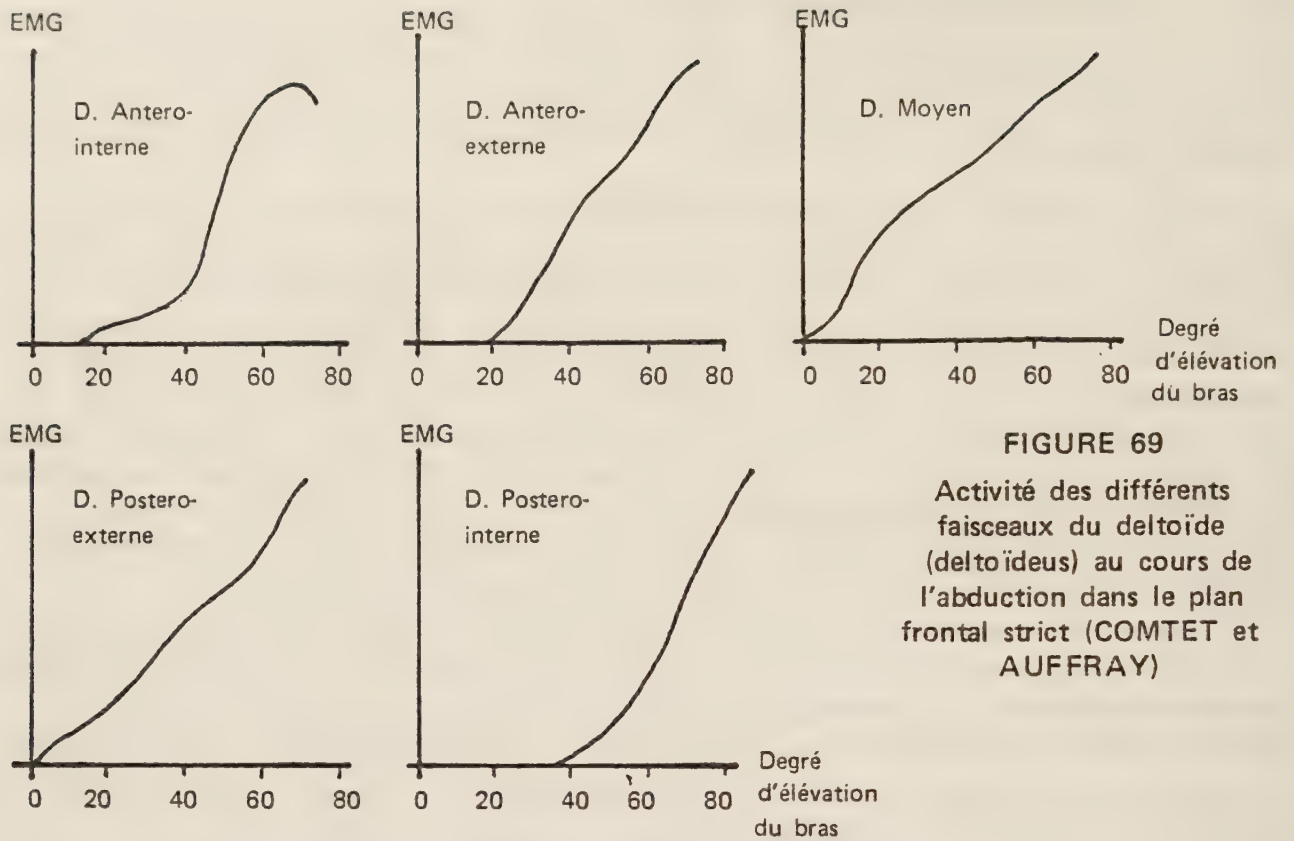


FIGURE 69

Activité des différents faisceaux du deltoïde (deltoïdeus) au cours de l'abduction dans le plan frontal strict (COMTET et AUFFRAY)

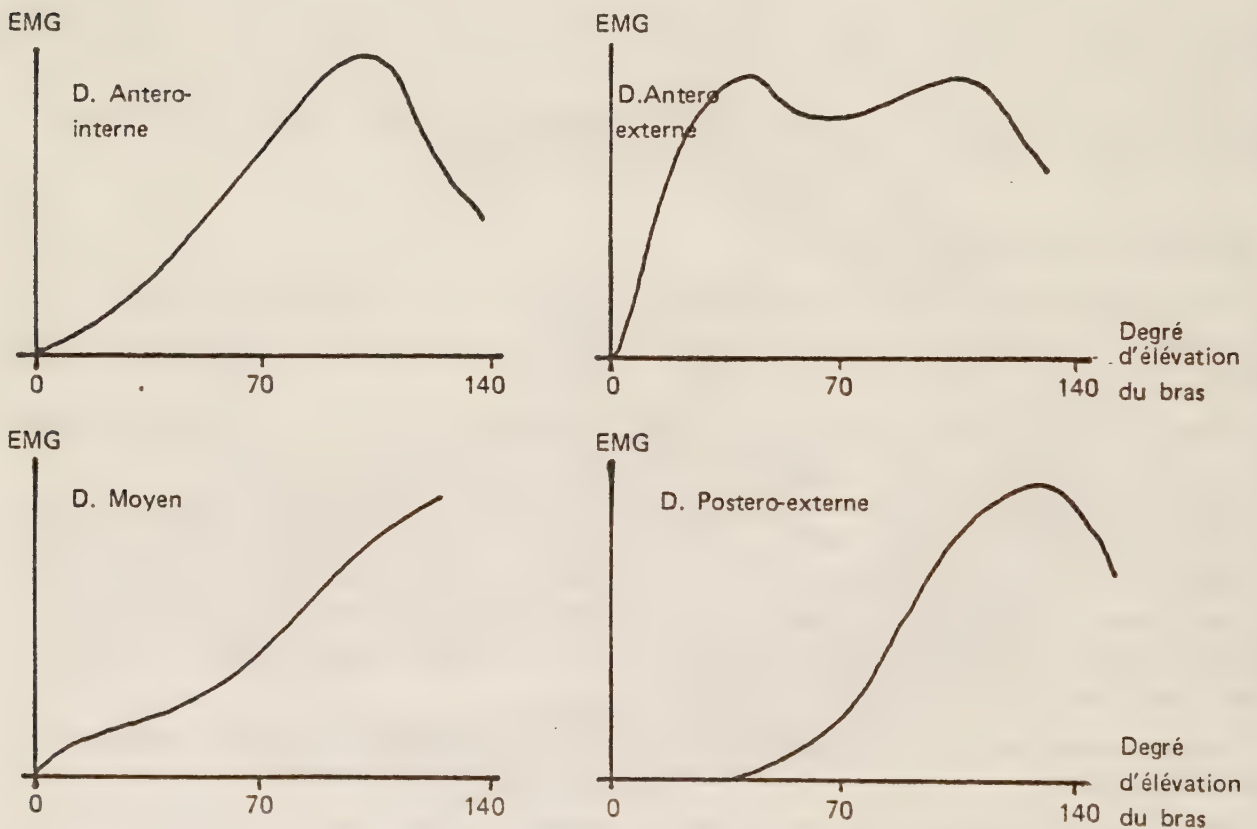


FIGURE 70

Activité des différents faisceaux du deltoïde (deltoïdeus) au cours de l'abduction dans le plan de l'omoplate (COMTET et AUFFRAY)

rotatoire du sus-épineux est peu étudié mais il ressort des enregistrements de JONES, qu'il intervient dans les mouvements de rotation. Pour VAN LINGE le muscle n'aurait aucun rôle rotatoire externe. Il est difficile de conclure.

C'est la participation du sus-épineux dans l'abduction et dans la flexion du bras qui a été la plus étudiée : INMAN a montré que l'activité du muscle est progressivement croissante au cours du mouvement : elle est maximum à 80° de flexion et à 100° d'abduction (Figure 71). La hauteur de la courbe d'activité étant la même au cours des deux mouvements. Ces travaux de INMAN, repris par d'autres auteurs (SAHA ...) infirment donc définitivement l'hypothèse de CODMAN faisant du sus-épineux le starter de l'abduction. L'activité du muscle est synchrone et simultanée de celle du deltoïde.

Si tous les auteurs sont d'accord pour constater l'activité du sus-épineux dans l'abduction les avis divergent quant il s'agit de l'expliquer : beaucoup d'auteurs (WATSON - JONES, BATEMAN...) ont du sus-épineux un suspenseur de la tête humérale, l'empêchant de glisser vers le bas au cours du mouvement, la plaquant dans la glène, formant ainsi un pivot qui favorise l'action du deltoïde. Cette hypothèse n'est probablement pas fausse (la composante Er (Figure 82) du sus-épineux plaque la tête humérale contre la glène facilitant ainsi l'action du deltoïde) mais ce n'est certainement pas la seule explication. De PALMA a montré que la rupture du tendon du sus-épineux n'est pas incompatible avec une abduction normale et pour VAN LINGE l'action du muscle serait surtout quantitative ; ses travaux sont intéressants : il constate, sur dix sujets, qu'après anesthésie du nerf du sus-épineux l'abduction est encore possible mais que le pouvoir d'abduction contre résistance est diminué de façon nette : si les sujets peuvent soulever un poids de 2 à 8 kg. avant l'anesthésie, après celle-ci ils ne peuvent soulever plus de 0 à 2 kg. Après 30 secondes les premiers signes de fatigue apparaissent et afin de garder la même amplitude le tronc s'incline sur le côté et l'épaule s'élève en bloc ; inconsciemment les sujets utilisent des mécanismes compensateurs pour assister la défaillance du deltoïde. Après une minute d'abduction l'attitude est identique à celle observée au cours d'une tentative d'abduction chez un malade présentant une rupture du tendon du sus-épineux. Le sus-épineux interviendrait donc sur la force maxima développée au cours du mouvement et indirectement sur l'endurance du deltoïde.

Au cours de la flexion les observations sont identiques. VAN LINGE explique ainsi la limitation des mouvements après une rupture du tendon du sus-épineux non pas par la rupture elle-même mais par l'atrophie progressive du deltoïde et la disparition progressive de ses capacités d'endurance que lui confère le sus-épineux.

Le sus-épineux peut donc à lui seul déterminer un mouvement d'abduction. Il intervient dans d'autres mouvements de l'épaule (flexion, extension, rotation). Il n'est cependant pas indispensable dans ces mouvements qui peuvent se faire sans lui. Il intervient directement comme moteur et indirectement comme stabilisateur.

— SOUS-SCAPULAIRE (SUBSCAPULARIS).

La physiologie du sous-scapulaire est mal connue. Il fait partie des rotateurs de l'épaule : c'est le "rotateur huméral antérieur" de DUCHENNE de BOULOGNE qui intervient dans la rotation interne de l'humérus. Il participe en outre aux mouvements de flexion, d'extension et d'abduction pour abaisser la tête humérale dans la cavité glénoïde.

INMAN a étudié son activité au cours de l'abduction et de la flexion du bras : au cours de l'abduction l'activité électrique du muscle croît progressivement jusqu'à 90° d'amplitude du mouvement, se maintient en plateau jusqu'à 130° puis décroît brusquement. Au cours de la flexion le plateau se situe entre 110 et 130° et l'amplitude de la courbe est moins haute que celle obtenue au cours de l'abduction (Figure 72). JONES enregistre une activité électrique du muscle au cours de la flexion, de l'extension et de l'abduction avec des pics maxima d'activité entre 60 et 130° d'élévation.

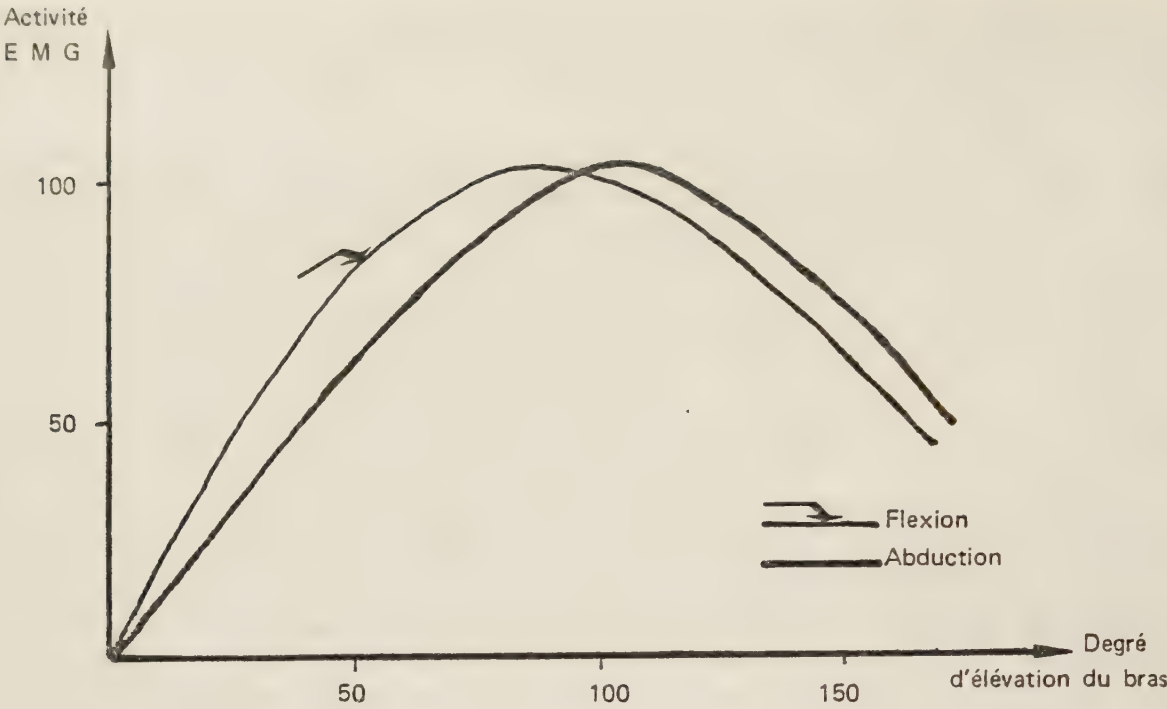


FIGURE 71
Courbe d'activité du sus-épineux (supraspinatus)
au cours de l'abduction et de la flexion

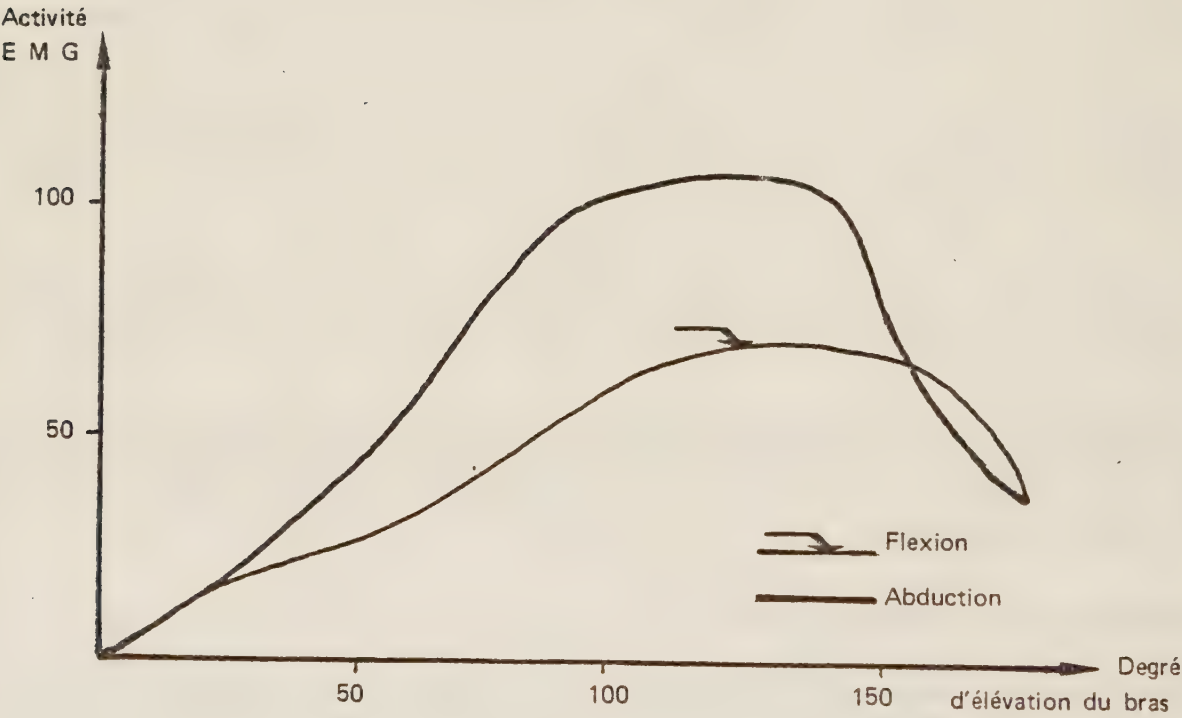


FIGURE 72
Courbe d'activité du sous-scapulaire (subscapularis)
au cours de l'abduction et de la flexion

D'une façon générale l'importance de cette activité enregistrée au niveau du sous scapulaire est inférieure à celle enregistrée au niveau des rotateurs externes.

Le sous-scapulaire est donc un muscle moteur, rotateur interne mais aussi stabilisateur qui intervient au cours d'autres mouvements. Nous reparlerons de ce rôle fondamental avec l'ensemble des rotateurs.

4 – LE SOUS-EPINEUX (INFRASPINATUS).

Le sous-épineux est avant tout comme le petit rond (teres minor) un rotateur externe du bras. DUCHENNE de BOULOGNE parle de "rotateur huméral postérieur" : "lorsqu'on le faradise le membre exécute un mouvement de rotation de dedans en dehors". D'ailleurs la rotation externe du bras contre résistance est presque impossible après anesthésie de son nerf (VAN LINGE). Du point de vue électromyographique on constate une activité maximum au cours de la rotation externe.

Certains auteurs ont voulu lui reconnaître d'autres rôles moteurs : pour PANSKY et HOUSE ses fibres supérieures seraient abductrices et ses fibres inférieures adductrices. Aucune étude électromyographique ne permet encore d'affirmer ou d'infirmer ce double rôle. HOLLINSHEAD en fait aussi un adducteur : il présente une forte activité électrique lors de l'adduction ou lors de l'adduction-rotation externe mais celle-ci disparaît lorsque l'adduction se fait en rotation interne (JONES). On peut cependant se demander si au cours de l'adduction le rôle du sous-épineux ne serait pas de s'opposer à la rotation interne. C'est ce qui expliquerait son activité au cours de l'adduction et de l'adduction-rotation externe alors que celle-ci disparaîtrait lorsque le bras est en rotation interne.

Comme tous les autres rotateurs le sous-épineux est aussi un stabilisateur de l'articulation scapulo-humérale (A. humeri) qui intervient dans les mouvements de flexion, d'extension et d'abduction pour maintenir la tête humérale dans la cavité glénoïde. Au cours de ces mouvements on note une intense activité électrique (INMAN, JONES, SAHA) : progressivement croissante au cours de l'abduction, alors qu'au cours de la flexion la courbe d'activité électromyographique est plus irrégulière avec deux pics l'un à 60° de flexion l'autre à 120° (Figure 73). SAHA ne retrouve pas cette irrégularité de la courbe au cours de la flexion.

Nous avons cependant été frappé par un des résultats publiés par JONES qui montrent une courbe d'activité nulle lorsque l'abduction se fait en rotation interne. On peut se demander pourquoi, si le sous-épineux intervient (comme on le verra ultérieurement dans l'étude synthétique) au cours de l'abduction pour abaisser la tête humérale, la rotation (interne) du bras modifie son activité.

5 – LE PETIT ROND (TERES MINOR).

Sa physiologie est très mal connue et les avis divergent, pour ne pas dire s'opposent suivant les auteurs.

Tout le monde cependant le considère comme un rotateur externe. Comme pour le sous-épineux (infraspinatus) DUCHENNE de BOULOGNE parle de "rotateur huméral postérieur". Son activité électromyographique est maximum au cours de la rotation externe.

Il semble bien pour la plupart des auteurs qu'il soit adducteur du bras mais comment se fait-il que son activité électrique s'annule lorsque l'adduction se fait en rotation interne (JONES) comme avec le sous-épineux ?

Intervient-il au cours des mouvements de flexion, d'extension et d'abduction pour abaisser la tête humérale comme le font les autres rotateurs ? C'est possible mais les différents résultats publiés sont troublants : pour INMAN les courbes d'activité sont superposables à celles du sous-épineux avec une courbe presque linéaire au cours de l'abduction jusqu'à un pic autour de 120° ; au cours de la flexion il existe un plateau entre 90 et 120° puis la courbe rejoint celle de l'abduction

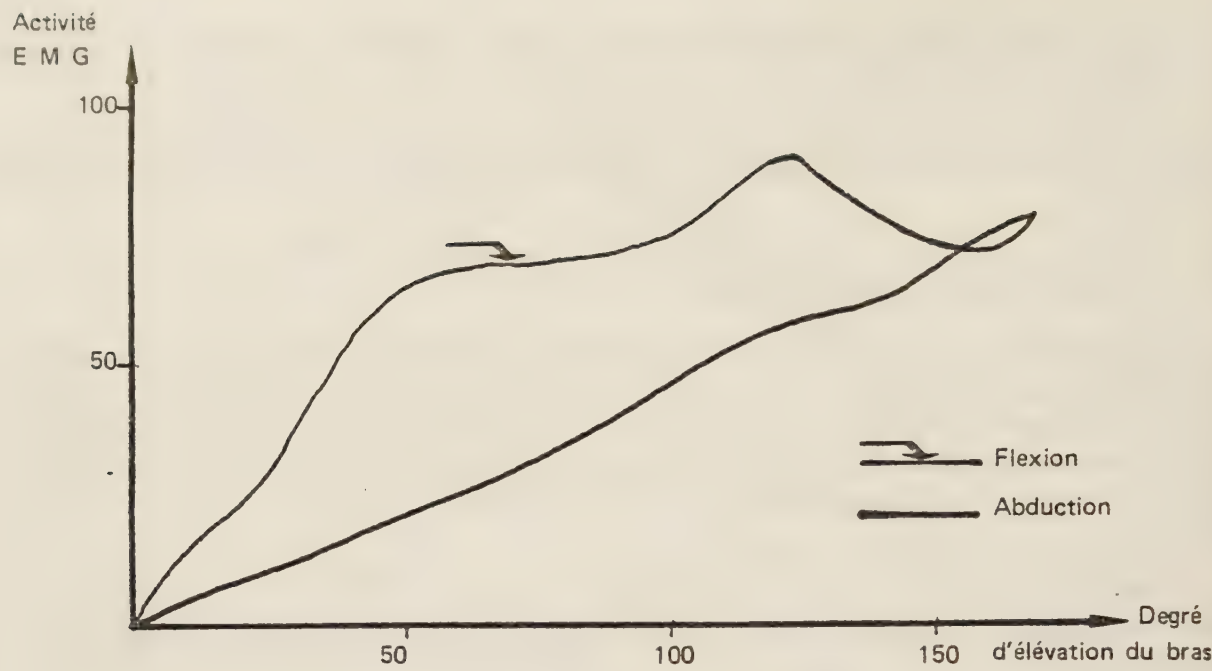


FIGURE 73
Courbe d'activité du sous-épineux (infraspinatus)
au cours de l'abduction et de la flexion

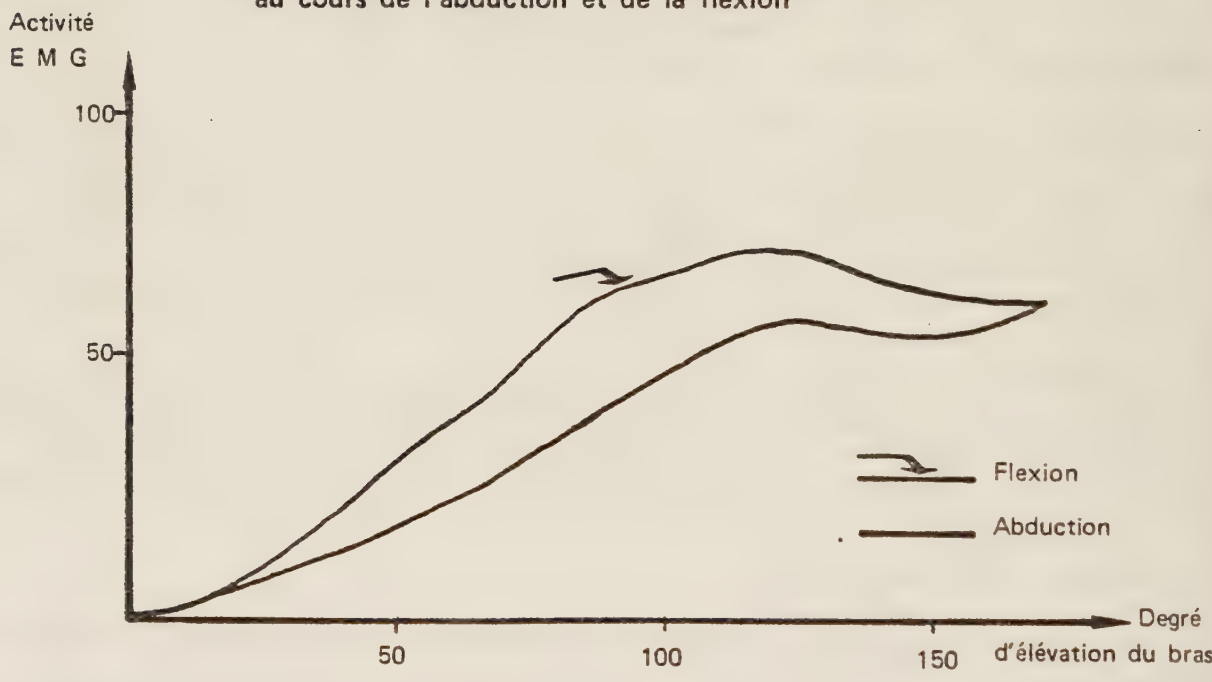


FIGURE 74
Courbe d'activité du petit rond (teres minor)
au cours de l'abduction et de la flexion

(Figure 74). Par contre les résultats de JONES dont les travaux sont plus complets et plus récents, sont tout différents : on constate un silence électrique total au cours de n'importe quel mouvement s'il se fait en rotation interne. Il existe au cours de la flexion une activité superposable à celle enregistrée au niveau du sous-épineux ; mais au cours de l'abduction on note un silence électrique (à la différence de INMAN) sauf si l'abduction se fait en rotation externe ; dans ce cas l'activité enregistrée se rapporte probablement à la composante rotatoire externe du mouvement.

6 – LE GRAND ROND (TERES MAJOR).

Bien que les anatomistes classiques ont fait de ce muscle un adducteur, un extenseur et un rotateur interne du bras, les travaux modernes montrent que c'est en fait DUCHENNE de BOULOGNE qui avait raison d'écrire que le grand rond n'est pratiquement pas rotateur, à peine adducteur mais surtout extenseur du bras.

Si l'on enregistre son activité électrique au cours des mouvements de l'épaule on ne constate une activité qu'en extension (que celle-ci se fasse en rotation interne ou externe) et qu'en flexion-rotation externe (JONES). Il est difficile d'interpréter cette activité en flexion-rotation externe : en fait si l'on regarde les courbes de JONES cette activité se manifeste toujours au-delà de 90° de flexion, c'est-à-dire lorsque l'humérus se porte vers l'arrière après avoir dépassé l'horizontale : on peut penser que le grand rond le tire alors vers l'arrière. **Le grand rond est donc essentiellement un extenseur du bras.**

Il intervient d'autre part comme stabilisateur de l'articulation scapulo-humérale (A. humeri) non pas au cours des mouvements mais pour maintenir une position acquise. INMAN en fait non pas un muscle cinétique mais un muscle statique.

Il développe alors son activité maximum au cours de l'abduction quand elle atteint 90° ; son activité croît alors avec la charge supportée par le membre supérieur (Figure 75).

7 – LE GRAND PECTORAL (PECTORALIS MAJOR).

C'est un vaste muscle qui, bien que superficiel a été dans son ensemble peu étudié. En 1867 déjà DUCHENNE de BOULOGNE avait dissocié sur le plan physiologique le faisceau claviculaire des deux autres faisceaux sterno-costaux.

Certaines fonctions sont communes aux trois faisceaux du muscle : tous les auteurs sont d'accord pour le considérer comme un adducteur du bras. Il est aussi rotateur interne mais pour DUCHENNE de BOULOGNE uniquement lorsque le bras se trouve en rotation externe ; pour de PALMA lorsque la rotation interne se fait contre résistance ; alors que BATEMAN le considère comme un rotateur interne à part entière. Il n'a aucun rôle au cours de l'abduction : toutes les études électromyographiques confirment ce fait.

Le faisceau claviculaire a été le plus étudié. Il est fléchisseur du bras : son activité est maximum au cours de la flexion (JONES, INMAN) que celle-ci se fasse en rotation interne ou en rotation externe. La courbe d'activité présente un pic à 75° et à 115° et décroît ensuite progressivement (Figure 76). Lorsque le bras est au zénith la contraction de ce faisceau l'abaisse au contraire jusqu'à l'horizontale.

Les deux faisceaux sterno-costaux ont un rôle bien différent du précédent : si le faisceau sterno-costal supérieur présente une légère activité électrique lors de la flexion on note un silence total au niveau du faisceau inférieur. Au contraire la contraction des faisceaux sterno-costaux abaisse le bras quelle que soit sa position.

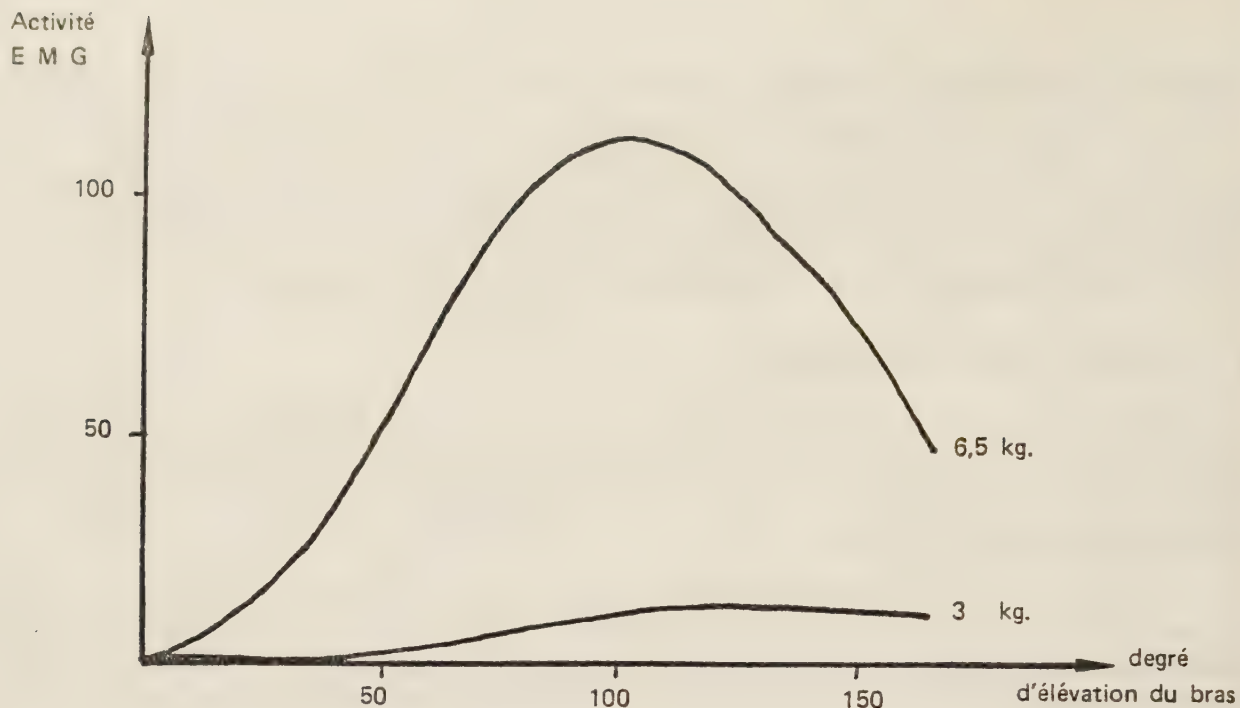


FIGURE 75

Courbe d'activité du grand rond (teres major)
au cours de l'élévation du bras avec une charge de
3 kg. puis avec une charge de 6,5 kg.

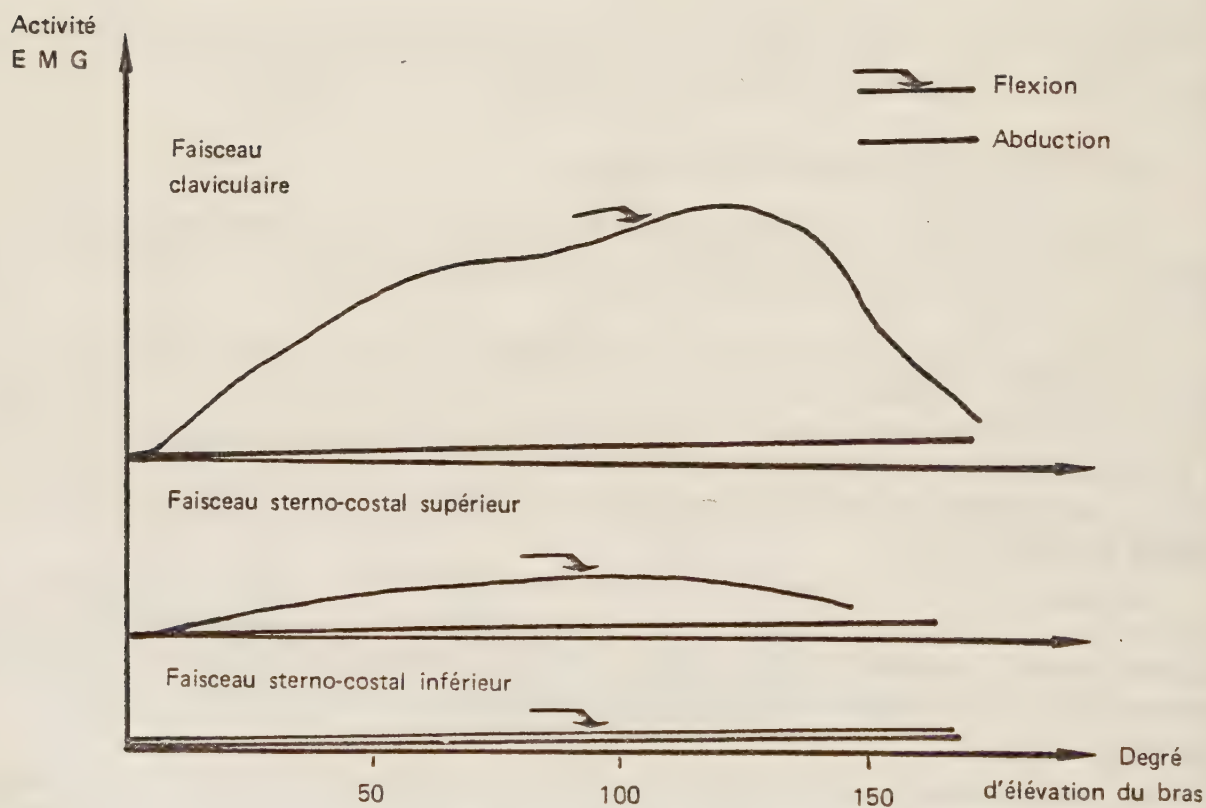


FIGURE 76

Courbe d'activité des trois faisceaux du grand pectoral (pectoralis major)
au cours de l'abduction et de la flexion

8 – LE GRAND DORSAL (LATISSIMUS DORSI).

Depuis longtemps les anatomistes classiques ont fait du grand dorsal un adducteur, un extenseur et un rotateur interne du bras. Ce triple rôle est confirmé par les expériences de DUCHENNE de BOULOGNE qui distingue en outre un rôle différent au tiers supérieur et au deux tiers inférieurs du muscle : la contraction isolée du tiers supérieur porte le bras en arrière et en dedans ; alors que la contraction isolée des deux tiers inférieurs abaisse le moignon de l'épaule et tend à subluser vers le bas la tête humérale.

Les auteurs plus modernes comme BATEMAN lui reconnaissent le triple rôle dont on a parlé précédemment. L'enregistrement électromyographique au cours des mouvements de l'épaule montre une activité dans presque tous les mouvements mais plus importante au cours de l'extension rotation interne et de l'abduction en rotation indifférente (JONES).

On peut donc se demander si le grand dorsal n'intervient pas comme les autres rotateurs pour abaisser la tête humérale au cours de l'élévation du bras.

9 – LA LONGUE PORTION DU BICEPS (BICEPS BRACHII - CAPUT LONGUM).

Ce muscle intervient peu dans les mouvements de l'épaule où il a plutôt un rôle de suppléance. Lorsque le bras se trouve en rotation indifférente son tendon forme un angle de 90° pour descendre dans la coulisse bicipitale de l'extrémité supérieure de l'humérus. Si l'humérus tourne en dehors de 90° le tendon s'aligne avec le corps musculaire et passe en ligne droite au-dessus de la tête humérale.

Lorsque le muscle se contracte, si l'on reporte au niveau de l'extrémité supérieure de l'humérus sa force B, celle-ci se décompose en une force tangentielle B_t abductrice et une force radiale B_r qui plaque la tête humérale contre la glène (Figure 77). Ce mécanisme d'action du long biceps au cours de l'abduction est instable et n'est utilisé que comme un mécanisme de suppléance en cas de paralysie du deltoïde par exemple. LUCAS a montré cependant qu'en cas de rupture du tendon du long biceps la force d'abduction en rotation externe du bras est moins forte (de 20 %) que celle du côté sain alors qu'en rotation interne il n'y a pas de différence.

10 – LE TRAPEZE (TRAPEZIUS).

Des auteurs classiques aux auteurs modernes tout le monde est d'accord pour reconnaître une fonction propre à chaque faisceau du trapèze.

Il fait partie avec le grand dentelé (serratus anterior), l'angulaire de l'omoplate (levator scapulae) et le rhomboïde (rhomboides) des rotateurs de l'omoplate (scapula). Les mouvements de rotation de l'omoplate se font, comme on le verra ultérieurement, sous l'action d'un couple de forces musculaires (Figure 85).

1. Le faisceau supérieur du trapèze :

DUCHENNE de BOULOGNE a montré que sa contraction isolée provoque une élévation du moignon de l'épaule. Ce n'est là qu'un des aspects du rôle de ce faisceau. Les travaux plus modernes (INMAN) montrent bien que son rôle est triple :

- il supporte le moignon de l'épaule même lorsque le bras est au repos : on constate en effet dans ce cas une activité électrique permanente au niveau du muscle (Figure 78).
- il élève le moignon de l'épaule.
- il forme la composante supérieure du couple de rotation de l'omoplate.

Au cours de l'élévation du bras (flexion ou abduction) son activité électrique augmente de façon linéaire avec un maximum lorsque le bras est au zénith. (Figure 78).

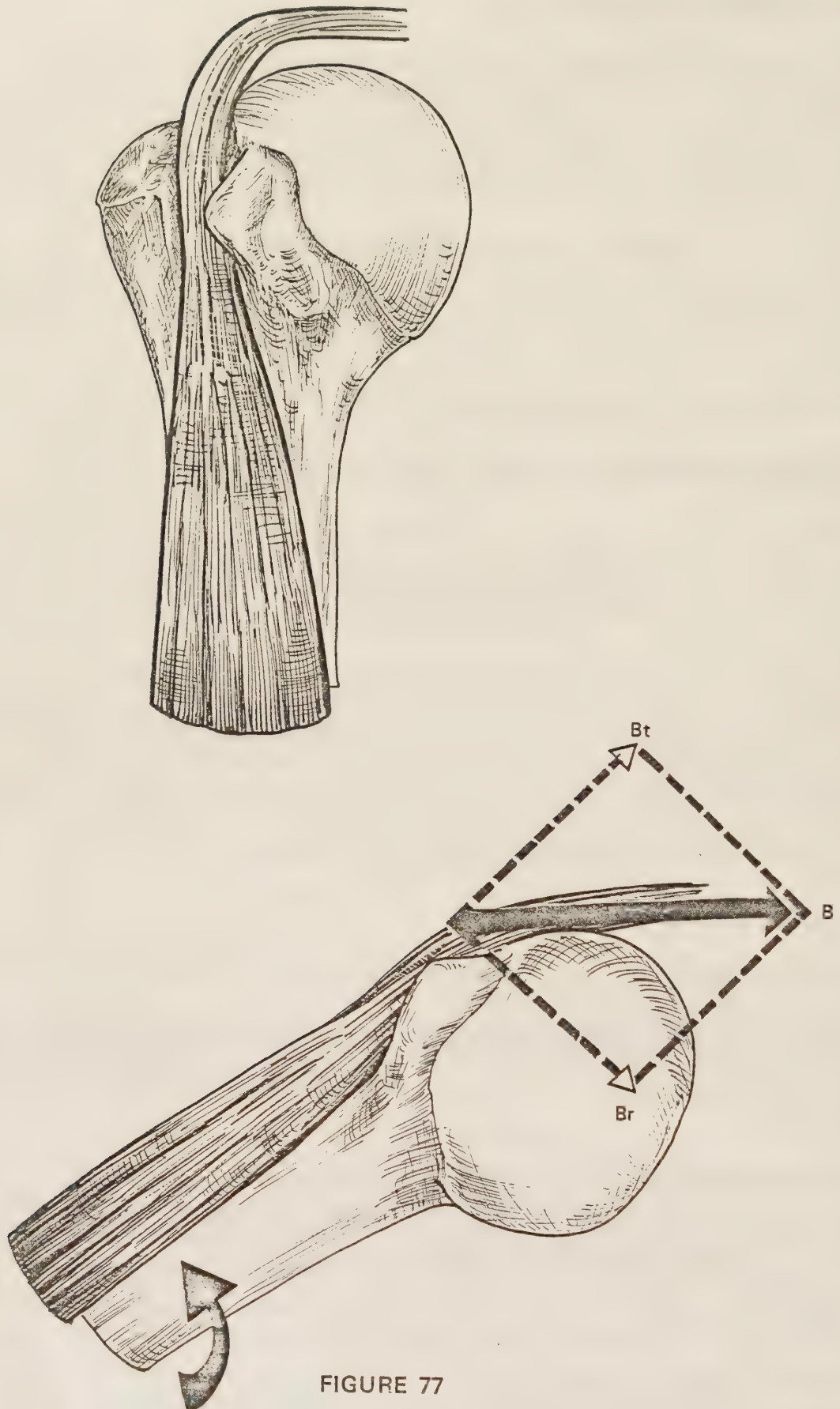


FIGURE 77

Mise en jeu du biceps (biceps brachii - caput longum)
au cours de l'abduction

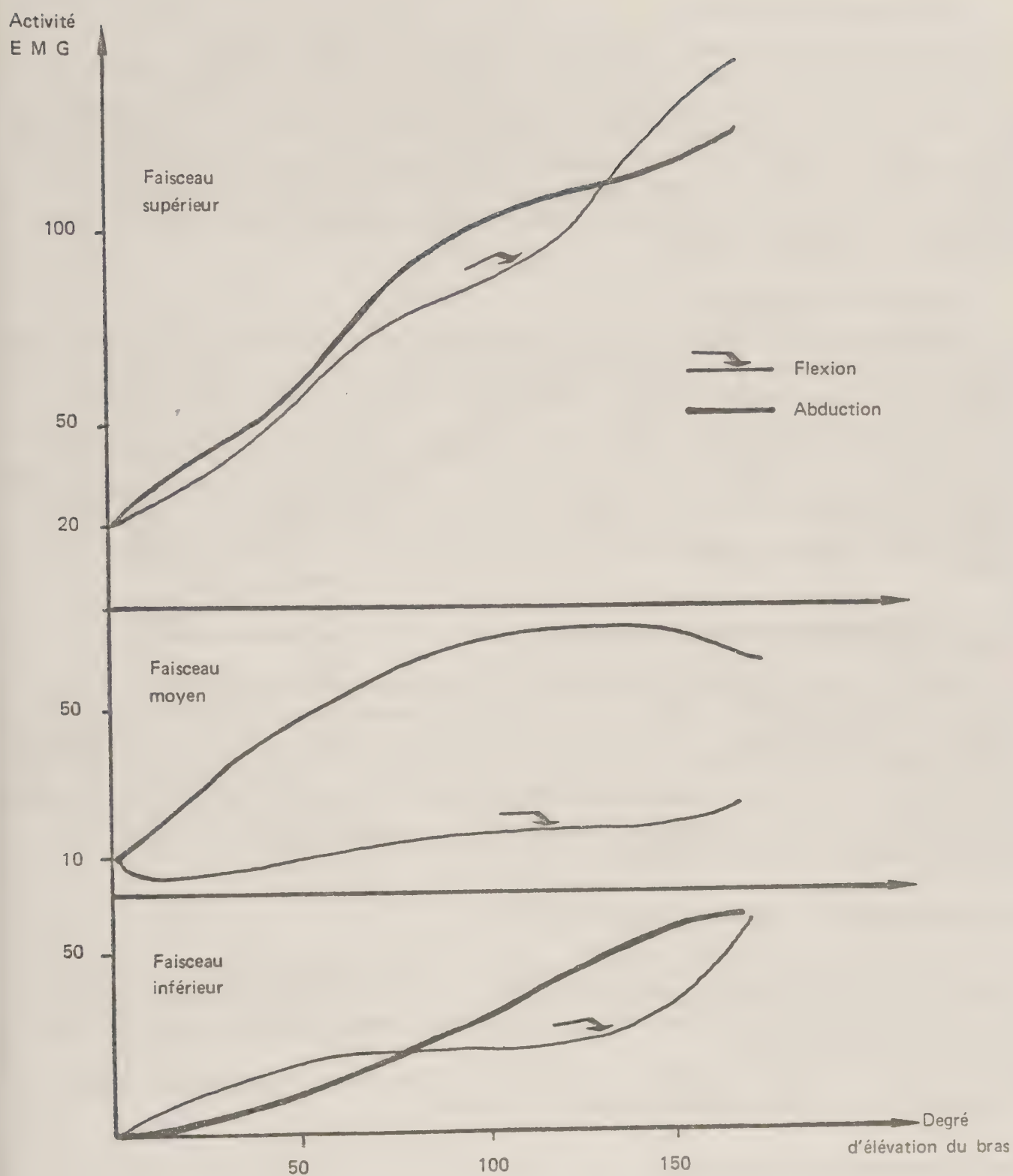


FIGURE 78

Courbe d'activité des trois faisceaux du trapèze (trapezius)
au cours de l'abduction et de la flexion

2. Le faisceau inférieur du trapèze :

Sa contraction isolée abaisse l'omoplate et la rapproche de la ligne médiane.

Ce faisceau forme en fait la composante rotatoire inférieure du couple de rotation de l'omoplate. Au cours de l'abduction la courbe d'enregistrement de son activité électrique croît de façon linéaire de 0° à 180° . Au cours de la flexion il existe un plateau entre 60° et 140° (Figure 78) mais la courbe rejoint celle de l'abduction à 180° . On explique ce plateau par le fait qu'au cours de la flexion le faisceau inférieur du trapèze "relache" sa composante rotatoire inférieure de l'omoplate pour lui permettre de se déplacer en avant. Ce rôle rotatoire est alors dévolue aux quatre faisceaux inférieurs du grand dentelé (serratus anterior).

3. Le faisceau moyen du trapèze :

DUCHENNE de BOULOGNE distingue la partie supérieure de ce faisceau qui fait tourner l'omoplate en élevant l'acromion et qui ensuite élève en bloc l'omoplate et sa partie inférieure qui la rapproche de la ligne médiane. Les auteurs plus modernes font de la partie moyenne du muscle, certes un adducteur de l'omoplate, mais surtout un moyen de fixation actif. C'est ainsi qu'au cours de l'abduction il fixe l'omoplate dans le plan du mouvement: la courbe de son activité électrique évolue vers un maximum jusqu'à 90° d'abduction pour redescendre légèrement ensuite jusqu'à 180° (Figure 78). Au cours de la flexion ce faisceau serait moins actif pour permettre à l'omoplate de tourner autour du thorax ; on constate en effet une faible activité qui augmente cependant jusqu'à 180° .

11 – LE GRAND DENTELE (SERRATUS ANTERIOR)

Comme le trapèze (trapezius) le grand dentelé fait partie des rotateurs de l'omoplate. La contraction isolée de ses digitations inférieures fait tourner l'omoplate (scapula) autour de son angle interne, la contraction globale du muscle la porte en dehors, en avant et en haut. Ces expériences de DUCHENNE de BOULOGNE sont confirmées par les études électromyographiques modernes. Le grand dentelé intervient comme abducteur et comme rotateur de l'omoplate. INMAN associe d'ailleurs les digitations supérieures du muscle au faisceau supérieur du trapèze avec son triple rôle et ses digitations inférieures au faisceau inférieur.

12 – L'ANGULAIRE DE L'OMOPLATE (LEVATOR SCAPULAE).

DUCHENNE de BOULOGNE en fait un rotateur de l'omoplate (scapula) (autour de son angle externe) et surtout un élévateur du moignon de l'épaule. Ce dernier rôle semble important puisqu'il "a vu des sujets qui n'ayant plus que l'angulaire pour élever l'épaule, exécutaient encore ce mouvement avec une grande énergie".

INMAN l'assimile au faisceau supérieur du trapèze et lui reconnaît donc un triple rôle : support et élévateur du moignon de l'épaule, rotateur de l'omoplate.

13 – LE RHOMBOÏDE (RHOMBOIDEUS).

Sa contraction déplace l'omoplate "de bas en haut et de dehors en dedans" c'est donc un adducteur de l'omoplate (scapula). On peut en fait l'assimiler au trapèze moyen et d'ailleurs ses courbes d'activité rappellent celles de ce muscle (Figure 79). avec une activité plus importante en abduction qu'en flexion. Il intervient donc au cours de l'abduction pour fixer l'omoplate dans le plan du mouvement ; alors qu'au cours de la flexion il se relâche partiellement pour permettre la rotation de l'omoplate autour du thorax.



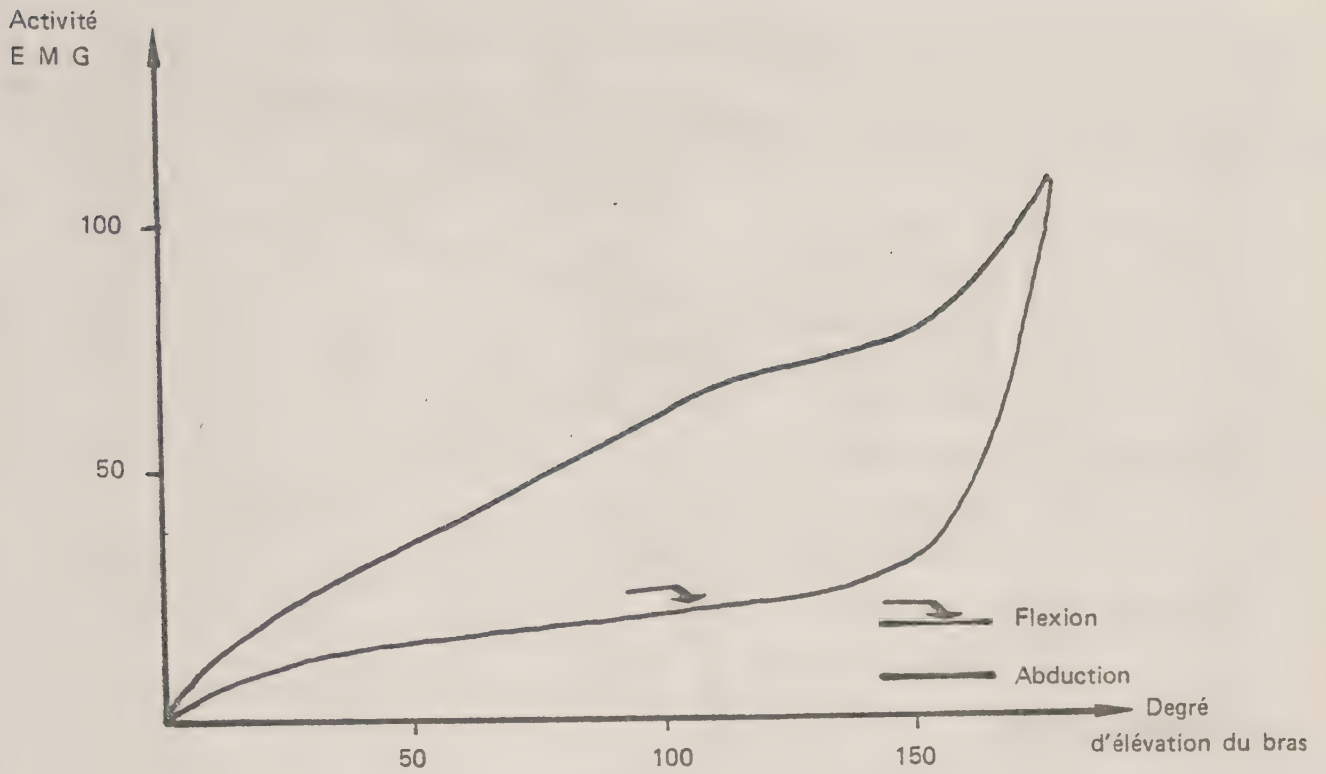


FIGURE 79

Courbe d'activité du rhomboïde (rhomboïdeus)
au cours de l'abduction et de la flexion.

II – ETUDE QUANTITATIVE.

Les études électromyographiques classiques fournissent des renseignements qualitatifs sur l'activité musculaire mais il n'est pas possible d'en retirer des renseignements quantitatifs.

Plusieurs auteurs ont essayé de préciser la force déployée par les muscles de l'épaule au cours des mouvements mais les résultats sont très variables d'un auteur à l'autre. LECOEUR a présenté une évaluation de l'ordre de grandeur de la force maximum développée par les muscles de l'épaule :

– Suspension muscles principaux :

Deltoïde postérieur	29 kg.
Coraco-huméral	12 kg.
Court biceps	8 kg.
Long biceps	12 kg.

– Elévation latérale (abduction) :

Sus-épineux	20 kg.
Deltoïde moyen	30 kg.

– Elévation antérieure (flexion) :

Deltoïde antérieur	11 kg.
--------------------	--------

– Rotation externe :

Sous-épineux	38 kg.
--------------	--------

– Rotation interne :

Sous scapulaire	80 kg.
-----------------	--------

– Adduction :

Grand Rond	25 kg.
Grand dorsal	90 kg.

Les chiffres ne représentent qu'une évaluation et il serait imprudent de les considérer autrement.

Le travail que nous avons réalisé n'a pas la prétention de résoudre ce problème ; mais nous avons voulu préciser les rapports (quantitatifs) qui existent entre les différents groupes musculaires, à la lumière des données électromyographiques, au cours du déclenchement de l'abduction, de la flexion et de l'extension du bras.

METHODE :

La méthode utilisée est simple. C'est la même que celle utilisée par de la CAFFINIÈRE et MAZAS. Après avoir prélevé sur un cadavre frais l'articulation scapulo-humérale (A. humeri) en conservant les éléments capsulo-ligamentaires, celle-ci est fixée dans une cage métallique (Figure 80). Les muscles sont remplacés par des fils sur lesquels on exerce des tractions par des poids variables. A l'extrémité de l'humérus est fixé un poids de 1 kg. représentant le poids du bras. Les muscles reconstitués artificiellement sont les suivants : le deltoïde (deltoïdeus) antérieur (D.A.), moyen (D.M.), et postérieur (D.P.), le sus-épineux (supraspinatus), le sous-épineux (infraspinatus), le sous-scapulaire (subscapularis) le faisceau claviculaire du grand pectoral (pectoralis major) et son faisceau thoracique.

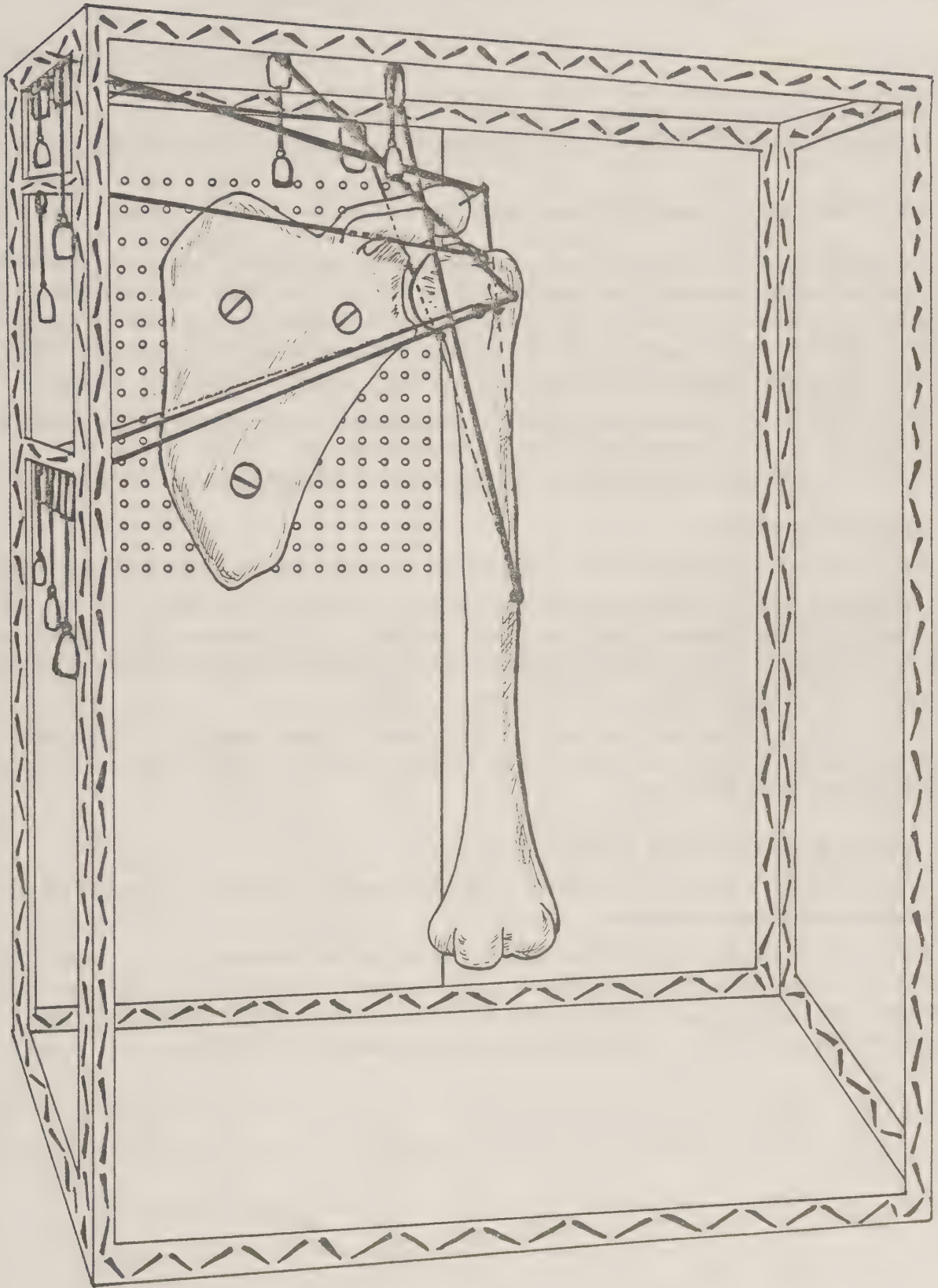


FIGURE 80

Sont notés les poids qui permettent de porter l'humérus en abduction, en flexion ou en extension de la position 0° à la position d'équilibre que nous avons arbitrairement fixée à 30° . Des radiographies sont prises au départ et dans les différentes positions d'équilibre.

RESULTATS :

Les résultats que nous présentons se rapportent à l'expérience réalisée. Nous les présentons tels que nous les avons constatés même si certains nous paraissent paradoxaux

I - DECLenchement DE L'ABDUCTION (Voir tableaux I, II et III).

Le deltoïde moyen seul, le sus-épineux seul déclenchent l'abduction. Que ce soit en rotation indifférente, en rotation interne ou en rotation externe de l'humérus nous constatons que pour déclencher le mouvement s'il faut une force égale à 1 sur le sus-épineux qui agit seul, il faut une force égale à 1,5 sur le deltoïde moyen qui agit seul. La force nécessaire au sus-épineux pour déclencher l'abduction est donc en valeur absolue plus faible que celle nécessaire au deltoïde moyen.

Quand les deux muscles agissent ensemble on constate que le sus-épineux facilite le deltoïde moyen (plus on charge le premier moins il faut charger le second).

On retrouve là le rôle quantitatif du sus-épineux au cours de l'abduction dont on a déjà parlé.

1. Influence des rotateurs :

- Plus on charge les rotateurs, plus il faut charger les abducteurs pour déclencher le mouvement.
- Lorsque les rotateurs sont chargés le deltoïde moyen seul et le sus-épineux seul peuvent provoquer l'abduction. Dans ce cas s'il faut une force égale à 1 sur le sus-épineux seul il faut une force égale à 1 sur le deltoïde seul. La force nécessaire pour déclencher le mouvement avec le sus-épineux est donc, en valeur absolue, égale à celle du deltoïde moyen.
- Si C_r est la charge sur les rotateurs ($\frac{C_r}{2}$ la charge sur un seul rotateur) et C la charge d'abduction du deltoïde moyen et/ou du sus-épineux on constate que $C = a + \frac{C_r}{2}$ avec a , une constante égale à 3000 dans cette expérience.

2. Influence du deltoïde antérieur et du deltoïde postérieur :

- Plus on charge le deltoïde antérieur et le deltoïde postérieur, plus il faut charger les abducteurs pour déclencher le mouvement.
- Si Cap est la charge sur le deltoïde antérieur et le deltoïde postérieur, C_d la charge qui déclenche le mouvement avec le deltoïde moyen et C_e la charge qui déclenche le mouvement avec le sus-épineux on constate que C_e est fonction de Cap et que C_d est fonction de Cap jusqu'à une certaine valeur de Cap ($\frac{Cap}{2} = 1500$ dans cette expérience) puis ne varie plus.

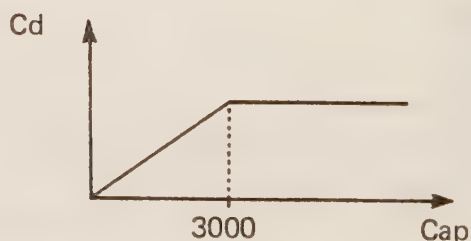
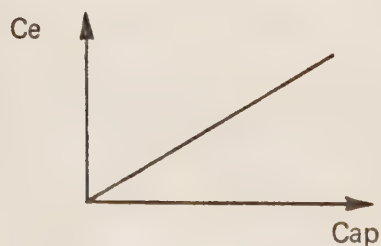


Tableau I. : Rôle respectif du deltoïde (deltoïdeus) moyen et du sus-épineux (supra-spinatus) au cours de l'abduction.

I - Abduction en rotation indifférente :

D.M.	D.A.	D.P.	Sus-épineux	Sous-épineux	Sous-scapulaire
6 000	500	500	0	1 000	500
0	500	500	4 000	1 000	500
4 000	500	500	500	1 000	500
3 500	500	500	1 000	1 000	500
3 000	500	500	1 500	1 000	500
2 000	500	500	2 000	1 000	500

II - Abduction en rotation externe :

6 000	500	1 000	0	1 000	0
0	500	1 000	4 500	1 000	0
5 000	500	1 000	500	1 000	0
5 000	500	1 000	1 000	1 000	0
4 000	500	1 000	1 500	1 000	0
3 500	500	1 000	2 000	1 000	0

III - Abduction en rotation interne :

3 000	0	0	0	0	1 000
0	0	0	2 000	0	1 000
2 500	0	0	500	0	1 000
2 500	0	0	1 000	0	1 000
2 000	0	0	1 500	0	1 000
2 000	0	0	2 000	0	1 000

Tableau II. : Influence des rotateurs sur le fonctionnement du deltoïde (deltoïdeus)moyen et du sus-épineux (supraspinatus) au cours de l'abduction.

D.M.	D.A.	D.P.	Sus-épineux	Sous-épineux	Sous-scapulaire
4 000	500	500	0	1 000	1 000
5 000	500	500	0	2 000	2 000
6 000	500	500	0	3 000	3 000
0	500	500	5 000	1 000	1 000
0	500	500	5 500	2 000	2 000
0	500	500	6 000	3 000	3 000
3 000	500	500	1 000	1 000	1 000
4 000	500	500	1 000	2 000	2 000
5 000	500	500	1 000	3 000	3 000



Tableau III. : Influence du deltoïde (deltoïdeus) antérieur et du deltoïde postérieur sur le fonctionnement du deltoïde moyen et du sus-épineux (supraspinatus) au cours de l'abduction.

D.M.	D.A.	D.P.	Sus-épineux	Sous-épineux	Sous-scapulaire
5 000	1 000	1 000	0	0	0
8 000	1 500	1 500	0	0	0
8 000	2 000	2 000	0	0	0
8 000	2 500	2 500	0	0	0
0	1 000	1 000	5 000	0	0
0	1 500	1 500	6 000	0	0
0	2 000	2 000	8 000	0	0
0	2 500	2 500	7 500	0	0
4 000	1 000	1 000	1 000	0	0
6 000	1 500	1 500	1 000		
6 000	2 000	2 000	1 000	0	0
6 000	2 500	2 500	1 000	0	0



- L'abduction s'accompagne dans certains cas de flexion. Plus on charge le deltoïde antérieur et le deltoïde postérieur plus le sus-épineux devient fléchisseur et plus le deltoïde moyen devient fléchisseur jusqu'à une certaine valeur de charge sur le deltoïde antérieur et postérieur ; au-delà le deltoïde moyen n'est plus du tout fléchisseur.

3. Remarques à propos de cette série d'expériences :

- Quand l'humérus est en rotation indifférente le sus-épineux est en outre rotateur interne. Par contre, il ne s'oppose pas à la rotation externe provoquée par le sous-épineux.

- A propos des rotateurs : le sous-scapulaire prédomine sur le sous-épineux puisque pour une même charge sur chacun des muscles c'est la rotation interne qui l'emporte. Par ailleurs les rotateurs sont légèrement adducteurs quand l'humérus est au repos.

Nous verrons plus loin que ce rôle revient au sous-épineux.

- A propos du deltoïde antérieur et du deltoïde postérieur : ces deux faisceaux sont adducteurs ; le deltoïde antérieur prédomine sur le deltoïde postérieur puisque pour une même charge c'est la flexion qui l'emporte. Le deltoïde postérieur corrige à lui seul le décrochement gléno-huméral constaté sur le montage au repos.

II – DECLENCHEMENT DE LA FLEXION (Tableaux IV, V, VI, VII).

Le deltoïde antérieur seul, le faisceau claviculaire du grand pectoral seul et son faisceau thoracique seul déclenchent le mouvement. Si Ca est la charge pour déclencher le mouvement avec le deltoïde antérieur, Cc avec le faisceau claviculaire du grand pectoral et Ct avec le faisceau thoracique on constate que pour fléchir l'humérus de 30° :

$$Cc = 2 Ca$$

$$Ct = 4 Ca$$

$$Ct = 2 Cc$$

Si dans notre expérience le faisceau thoracique peut déclencher le mouvement il ne faut pas en déduire que c'est un fléchisseur du bras. Nous avons vu précédemment avec les études classiques de DUCHENNE de BOULOGNE et les études électromyographiques plus récentes qu'il n'intervient probablement pas dans la flexion.

Le faisceau claviculaire du grand pectoral facilite l'action du deltoïde antérieur (comme le sus-épineux facilite celle du deltoïde moyen au cours de l'abduction) alors que le faisceau thoracique du grand pectoral ne la facilite pas. L'action du deltoïde antérieur est facilitée par la charge simultanée des deux faisceaux du grand pectoral mais probablement à cause du seul faisceau claviculaire.

1. **Influence du deltoïde postérieur** : comme on peut s'y attendre le deltoïde postérieur s'oppose à l'action du deltoïde antérieur et du faisceau claviculaire du grand pectoral.

2. **Influence des abducteurs** : cette influence est peu importante : il semble qu'ils facilitent légèrement l'action du deltoïde antérieur mais de la même façon quel que soit la charge sur les abducteurs. Le deltoïde moyen facilite plus facilement que le sus-épineux le deltoïde antérieur.

3. **Les rotateurs** ne semblent pas avoir d'influence.

4. Remarques à propos de cette série d'expériences :

- Le deltoïde antérieur seul ne corrige pas le décrochement gléno-huméral constaté sur le montage au repos (à la différence du deltoïde postérieur).

- Le deltoïde antérieur et les deux faisceaux du grand pectoral sont légèrement rotateurs internes. Le deltoïde antérieur s'oppose à la rotation externe provoquée par de faibles charges sur le sous-épineux ; quand ces charges augmentent c'est malgré tout la rotation externe qui l'emporte.

Tableau IV. : Rôle respectif du deltoïde (deltoïdeus) antérieur et des faisceaux du grand pectoral (pectoralis major) au cours de la flexion.

D.M.	D.A.	D.P.	Sus épineux	Sous * épineux	Sous scapulaire	G.P. faisceau claviculaire	G.P. faisceau thoracique
0	1 000	0	0	500	500	0	0
0	0	0	0	500	500	2 000	0
0	0	0	0	500	500	0	4 000
0	500	0	0	500	500	1 000	0
0	1 000	0	0	500	500	0	1 000
0	500	0	0	500	500	500	500

Tableau V. : Influence du deltoïde (deltoideus) postérieur sur le fonctionnement du deltoïde (deltoideus) antérieur et du faisceau claviculaire du grand pectoral (pectoralis major) au cours de la flexion.

0	1 000	500	0	500	500	0	0
0	1 000	1 000	0	500	500	0	0
0	2 000	1 500	0	500	500	0	0
0	2 500	2 000	0	500	500	0	0
0	0	500	0	500	500	2 000	0
0	0	1 000	0	500	500	3 500	0
0	0	1 500	0	500	500	4 000	0
0	0	2 000	0	500	500	5 000	0



Tableau VI. : Influence des abducteurs sur le fonctionnement du deltoïde (deltoideus) antérieur au cours de la flexion.

D.M.	D.A.	D.P.	Sus épineux	Sous épineux	Sous scapulaire	G.P. faisceau claviculaire	G.P. faisceau thoracique
1 000	1 000	0	0	500	500	0	0
2 000	700	0	0	500	500	0	0
3 000	500	0	0	500	500	0	0
4 000	500	0	0	500	500	0	0
0	1 000	0	500	500	500	0	0
0	700	0	1 000	500	500	0	0
0	700	0	1 500	500	500	0	0
0	1 000	0	2 000	500	500	0	0
1 000	500	0	1 000	500	500	0	0
2 000	500	0	1 000	500	500	0	0
3 000	500	0	1 000	500	500	0	0
4 000	500	0	1 000	500	500	0	0



Tableau VII. : Influence des rotateurs sur le fonctionnement du deltoïde (deltoïdeus) antérieur au cours de la flexion.

D.M.	D.A.	D.P.	Sus épineux	Sous épineux	Sous scapulaire	G.P. faisceau claviculaire	G.P. faisceau thoracique
0	1 000	500	0	1 000	0	500	500
0	1 000	500	0	1 500	0	500	500
0	1 000	500	0	2 000	0	500	500
0	1 000	500	0	2 500	0	500	500
0	1 000	0	0	0	1 000	500	500
0	1 000	0	0	0	1 500	500	500
0	1 000	0	0	0	2 000	500	500
0	1 000	0	0	0	2 500	500	500
0	1 000	500	0	500	500	500	500
0	1 000	500	0	1 000	1 000	500	500
0	1 000	500	0	1 500	1 500	500	500
0	1 000	500	0	2 000	2 000	500	500



III – DECLENCHEMENT DE L'EXTENSION (Tableaux VIII, IX, X, XI)

Le deltoïde postérieur seul déclenche le mouvement.

1. Les rotateurs ne s'opposent pas au deltoïde postérieur dans le déclenchement du mouvement sauf peut-être très légèrement les rotateurs externes.

2. Les abducteurs s'opposent à l'action du deltoïde postérieur : plus on les charge, plus il faut charger le deltoïde postérieur pour obtenir une extension de 30° .

3. Les fléchisseurs bien sûr, s'opposent au deltoïde postérieur. Le deltoïde antérieur s'y oppose plus que le faisceau claviculaire du grand pectoral qui s'y oppose plus que son faisceau thoracique.

4. Remarques à propos de cette série d'expériences :

- A propos de l'adduction qui accompagne l'extension : le deltoïde postérieur est en outre adducteur. Le sous-scapulaire supprime complètement cette adduction due au deltoïde postérieur alors qu'il ne modifie pas l'adduction produite par le sous-épineux (on constate une légère adduction quand on charge les deux rotateurs). Le deltoïde moyen s'oppose à l'adduction du deltoïde postérieur alors que le sus-épineux ne s'y oppose pas pour des charges équivalentes. Associé au deltoïde postérieur le faisceau thoracique du grand pectoral est plus adducteur que son faisceau claviculaire et ce faisceau claviculaire l'est plus que le deltoïde antérieur.

- A propos de la rotation qui accompagne l'extension : le deltoïde postérieur seul ne modifie pas la rotation de l'humérus mais il diminue la rotation interne provoquée par la mise en charge des rotateurs (prépondérance des rotateurs internes sur les rotateurs externes pour une même charge). On constate par ailleurs que le faisceau thoracique du grand pectoral est plus rotateur interne que son faisceau claviculaire lui-même plus rotateur interne que le deltoïde antérieur. Le deltoïde postérieur ne modifie pas la rotation interne provoquée par le deltoïde antérieur, le grand pectoral ou le sus-épineux.

- A propos du décrochement gléno-huméral : le deltoïde postérieur seul le corrige. Par contre la mise en charge du sous-scapulaire empêche cette correction, bien que l'extension reste possible.

Il est bien évident que ces mesures et ces constatations sont loin de la réalité. Elles permettent néanmoins dans une certaine mesure de se faire une idée du rapport qui existe entre les différents groupes musculaires. Malgré le caractère "artisanal" de la méthode les résultats obtenus viennent compléter les informations fournies par l'électromyographie qui ne peuvent être que qualitatives.

Tableau VIII. : Rôle du deltoïde (deltoïdeus) postérieur dans le déclenchement de l'extension.

D.M.	D.A.	D.P.	Sus épineux	Sous épineux	Sous scapulaire	G.P. faisceau claviculaire	G.P. faisceau thoracique.
0	0	2 000	0	0	0	0	0

Tableau IX. : Influence des rotateurs sur l'action du deltoïde (deltoïdeus) postérieur au cours de l'extension.

0	0	2 000	0	1 000	0	0	0
0	0	2 000	0	1 500	0	0	0
0	0	3 000	0	2 000	0	0	0
0	0	3 000	0	2 500	0	0	0
0	0	2 000	0	0	1 000	0	0
0	0	2 000	0	0	1 500	0	0
0	0	2 000	0	0	2 000	0	0
0	0	2 000	0	0	2 500	0	0
0	0	1 500	0	1 000	1 000	0	0
0	0	2 000	0	1 500	1 500	0	0
0	0	2 000	0	2 000	2 000	0	0
0	0	2 000	0	2 500	2 500	0	0



Tableau X. : Influence des abducteurs sur le fonctionnement du deltoïde (deltoïdeus) postérieur au cours de l'extension.

D.M.	D.A.	D.P.	Sus épineux	Sous épineux	Sous scapulaire	G.P. faisceau claviculaire	G.P. faisceau thoracique
1 000	0	2 000	0	500	500	0	0
2 000	0	2 500	0	500	500	0	0
3 000	0	3 000	0	500	500	0	0
4 000	0	3 000	0	500	500	0	0
0	0	2 000	1 000	500	500	0	0
0	0	4 000	2 000	500	500	0	0
1 000	0	2 500	1 000	500	500	0	0
2 000	0	3 000	1 000	500	500	0	0
3 000	0	4 000	1 000	500	500	0	0
4 000	0	7 000	1 000	500	500	0	0



Tableau XI. : Influence des fléchisseurs sur le fonctionnement du deltoïde (deltoideus) postérieur au cours de l'extension.

D.M.	D.A.	D.P.	Sus épineux	Sous épineux	Sous scapulaire	G.P. faisceau claviculaire	G.P. faisceau thoracique
0	500	2 000	0	500	500	0	0
0	1 000	4 000	0	500	500	0	0
0	1 500	7 500	0	500	500	0	0
0	2 000	9 000	0	500	500	0	0
0	0	2 000	0	500	500	500	0
0	0	3 000	0	500	500	1 000	0
0	0	5 000	0	500	500	1 500	0
0	0	7 500	0	500	500	2 000	0
0	0	2 000	0	500	500	0	500
0	0	3 000	0	500	500	0	1 000
0	0	3 500	0	500	500	0	1 500
0	0	4 000	0	500	500	0	2 000
0	500	5 000	0	500	500	500	500
0	1 000	6 000	0	500	500	500	500
0	1 500	10 000	0	500	500	500	500



III — ETUDE SYNTHETIQUE.

I — L'ELEVATION DU BRAS AU ZENITH.

Peut se faire par une abduction associée à une rotation externe ou par une flexion associée à une rotation interne du bras. Comme on l'a vu précédemment une partie du mouvement se passe dans la scapulo-humérale (A. humeri) l'autre partie dans la scapulo-thoracique.

A — AU NIVEAU DE LA SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERI) :

C'est INMAN qui le premier semble avoir montré que l'élévation du bras nécessite la mise en jeu d'un couple de forces musculaires et que pour arriver à une position d'équilibre trois forces sont nécessaires : la première est représentée par le poids du membre supérieur qui agit au centre de gravité, la seconde par une force élévatrice, essentiellement le deltoïde et la troisième par la résultante de forces agissant au centre de rotation de l'humérus dans une direction opposée à celle du deltoïde (Figure 81). Cette dernière étant représentée par la pression et le frottement de la tête humérale dans la cavité glénoïde et par la traction vers le bas des rotateurs en particulier le sous-scapulaire (subscapularis), le sous-épineux (infraspinatus) et le petit rond (teres minor). La construction des forces au cours de l'élévation du bras est bien expliquée par COMTET et AUFRAY : (Figure 83) au cours du mouvement la composante radiale D_r du deltoïde se traduit au niveau du centre de rotation de la tête humérale par une force R (égale à D_r diminuée de la composante P_r du poids du membre supérieur). Cette force R se décompose elle-même en une force R_g qui tend à appliquer la tête dans la glène et une force R_i qui tend à la luxer en haut et en dehors. Les muscles rotateurs exercent une force R_a opposée à cette force R_i qui tire en bas et en dedans. Cette force R_a passe par un maximum quand l'abduction atteint 60° . Sans cette force la tête humérale s'élève sans pivoter et vient se coincer sous la voûte acromio-claviculaire. La rotation de la tête humérale au cours du mouvement se fait donc sous l'action d'un couple de forces situées de part et d'autre de l'axe du mouvement : l'action élévatrice (R_i) de l'une est compensée par l'action d'abaissement (R_a) de l'autre et seule persiste la rotation.

1. Au cours de l'abduction :

Les deux muscles abducteurs de l'humérus sont le sus-épineux (supra-spinatus) et le deltoïde (deltoideus).

- Le sus-épineux (supraspinatus) : il abducte le bras par sa composante E_t (Figure 82). Il peut à lui seul, comme on l'a vu permettre une abduction normale. Lors de sa contraction isolée (en cas de paralysie du deltoïde par exemple) il n'existe aucune subluxation de la tête humérale vers le haut : le sus-épineux n'est donc pas tributaire de l'activité des muscles rotateurs comme c'est le cas pour le deltoïde.

Le sus-épineux se suffit à lui même au cours de l'abduction. Rappelons d'autre part que l'abduction reste possible en l'absence de sus-épineux, mais le deltoïde devient alors rapidement fatigable et la force globale de l'abduction est diminuée.

Il ne faut pas oublier par ailleurs son rôle de suspenseur de l'extrémité supérieure de l'humérus. Il forme un "amortisseur" entre la tête humérale et la voûte acromio-claviculaire. Enfin par sa composante E_r il plaque la tête humérale contre la glène, ce qui favorise probablement l'action du deltoïde, du moins au cours des premiers degrés du mouvement.

- Le deltoïde (deltoideus) : c'est l'abducteur du bras par excellence. Nous avons vu précédemment la mise en jeu de ces différents faisceaux au cours du mouvement. A la différence du sus-épineux il ne peut à lui seul permettre une abduction : il fait partie d'un couple de forces musculaires. Sa contraction isolée (en cas de paralysie des rotateurs par exemple) ne permet pas l'abduction mais

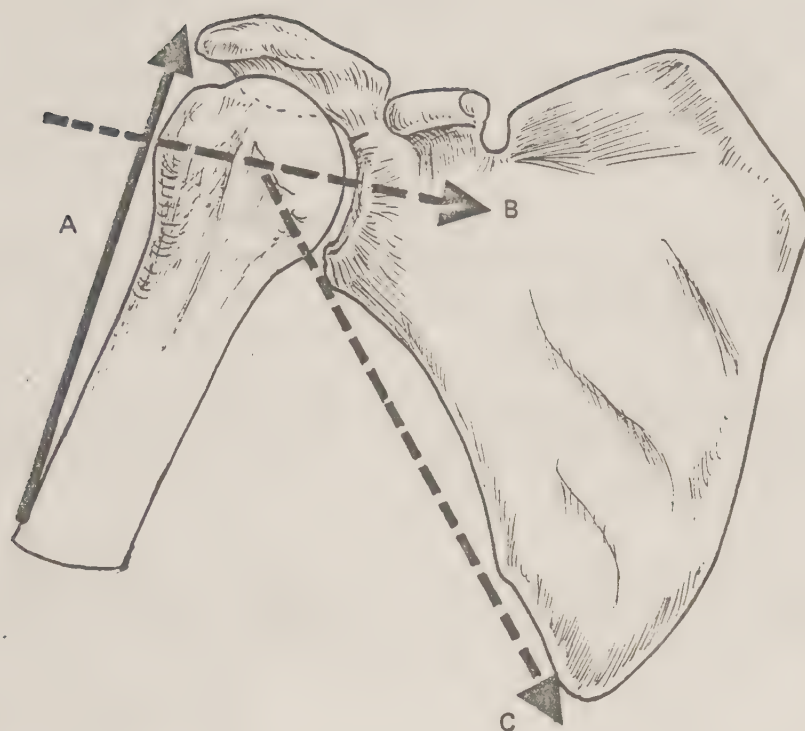


FIGURE 81

Couple de forces intervenant pour
l'élévation du bras (d'après INMAN)

- A : Deltoïde (deltoïdeus)
- B : Pression tête-glène
- C : Rotateurs

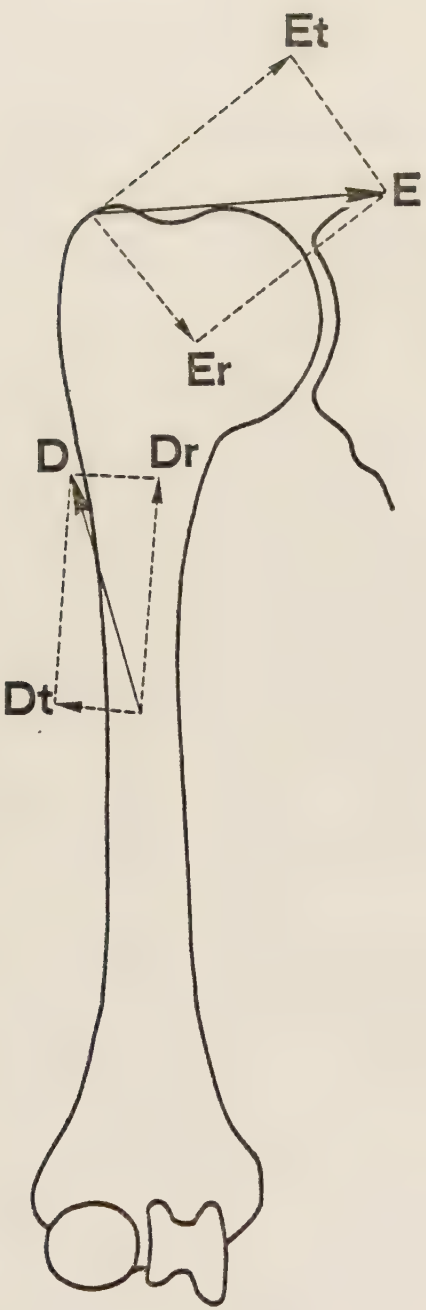


FIGURE 82

Couple deltoïde (deltoïdeus) -
sus-épineux (supraspinatus)

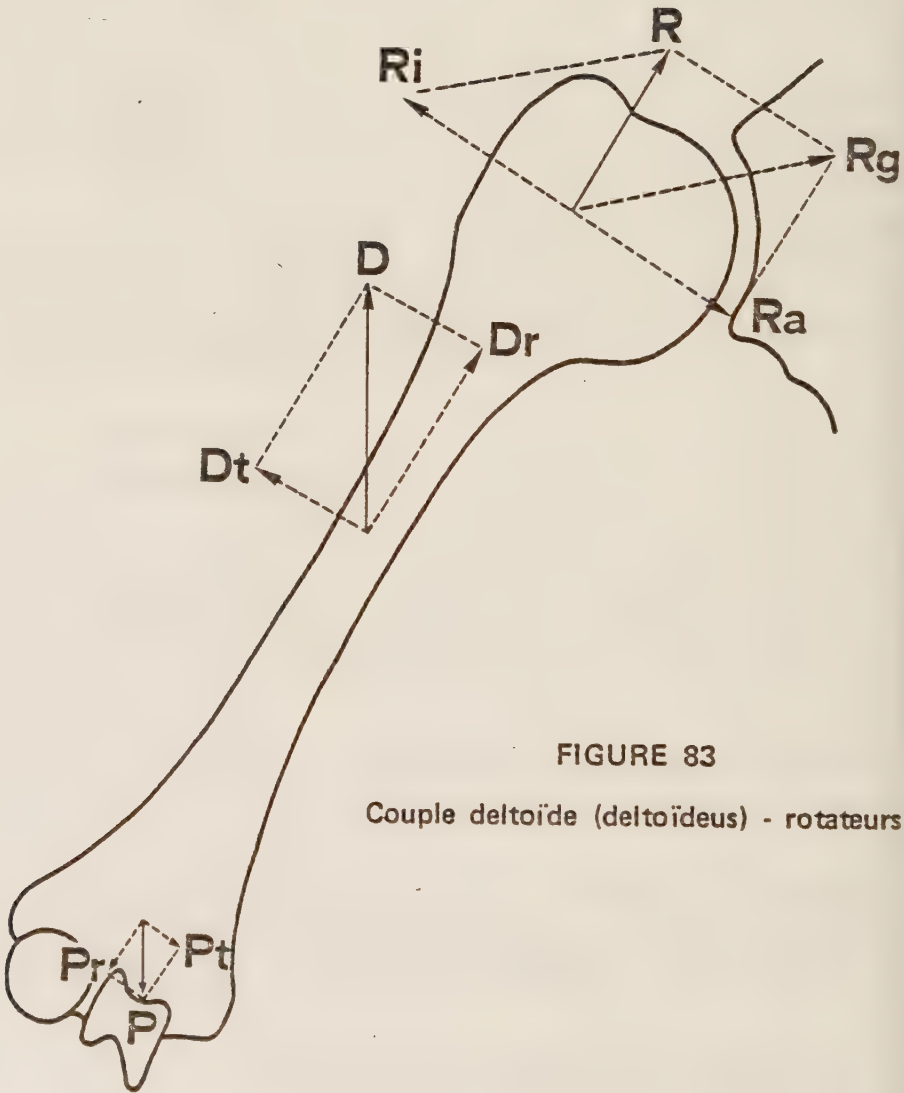


FIGURE 83

Couple deltoïde (deltoïdeus) - rotateurs

provoque une subluxation de la tête humérale vers le haut. Les rotateurs sont nécessaires à son action pour abaisser la tête humérale, neutralisant ainsi sa composante radiale pour ne laisser active que sa composante tangentielle abductrice.

- **Le sous-scapulaire (subscapularis)** : au cours de l'abduction il participe au couple formé par le deltoïde et les rotateurs : il abaisse la tête humérale et la plaque contre la glène.

- **Le sous-épineux (infraspinatus)** : intervient de deux façons : comme le sous-scapulaire il abaisse la tête humérale et participe au couple de rotation deltoïde - rotateurs ; d'autre part, c'est un rotateur externe de l'humérus : il va donc le placer en rotation externe ce qui permet une amplitude d'abduction maximum.

- **Le petit rond (teres minor)** : pour INMAN le petit rond intervient comme le sous-épineux : il abaisse la tête humérale et permet la rotation externe qui accompagne l'abduction. JONES ne lui reconnaît que son rôle rotateur externe.

- **Le grand rond (teres major) et le grand pectoral (pectoralis major)** : ne sont pas mis en jeu au cours de l'abduction. Il convient cependant de remarquer le rôle statique du grand rond qui n'intervient que pour stabiliser la tête humérale lorsque le bras est maintenu dans une position d'abduction donnée.

- **Le grand dorsal (latissimus dorsi)** : n'intervient pratiquement pas sauf lorsque l'abduction se fait en rotation nulle du bras. Il est difficile d'interpréter ce fait, il abaisse probablement alors la tête humérale au même titre que les autres rotateurs.

2. Au cours de la flexion :

- **Les muscles fléchisseurs de l'humérus** : sont représentés par le faisceau antérieur et les fibres antérieures du faisceau moyen du deltoïde (deltoideus), le faisceau claviculaire du grand pectoral (pectoralis major) et le coraco-brachial (coraco-brachialis) (Figure 84). Comme pour l'abduction l'action des fléchisseurs n'est possible que combinée à celle des rotateurs, formant ainsi des couples de forces musculaires fléchisseurs - rotateurs.

- **Le sus-épineux (supraspinatus)** : participe au mouvement. Il est peu probable qu'il intervienne comme fléchisseur. Mais par sa composante Er il plaque la tête humérale dans la glène et favorise ainsi l'action du deltoïde antérieur.

- **Le sous-scapulaire (subscapularis)** : participe au mouvement de deux façons : il permet la rotation interne de l'humérus nécessaire à une flexion maximum et il participe au couple rotateurs - fléchisseurs en abaissant la tête humérale. On peut comparer ce double rôle à celui du sous-épineux au cours de l'abduction.

- **Le sous-épineux (infraspinatus) et le petit rond (teres minor)** : interviennent pour abaisser la tête humérale.

- **Le grand rond (teres major)** : n'intervient pas dans la flexion. Comme dans l'abduction il peut avoir un rôle statique pour stabiliser la tête humérale dans une position de flexion donnée.

- **Le faisceau thoracique du grand pectoral (pectoralis major) et le grand dorsal (latissimus dorsi)** : ne participent pas au mouvement.

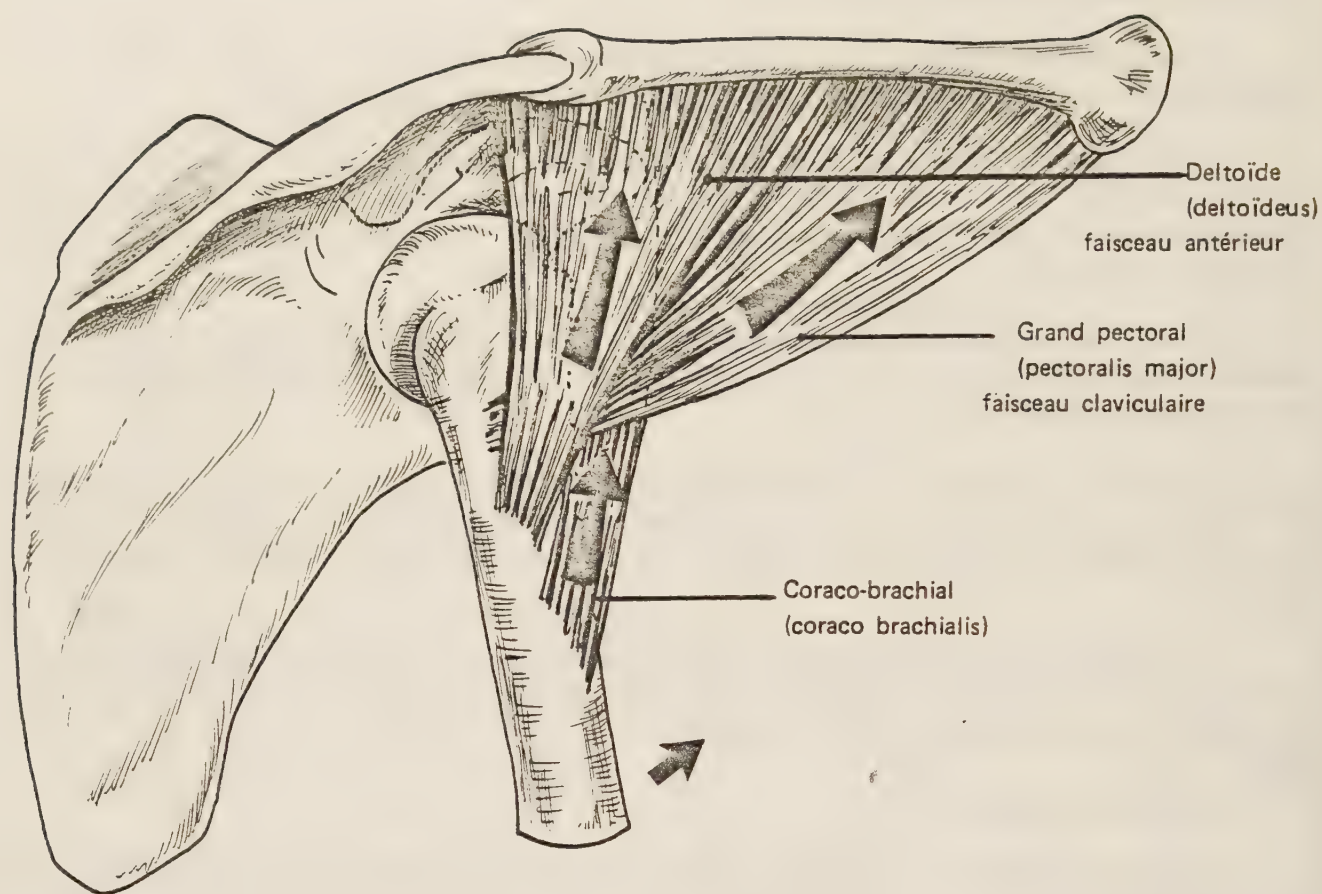


FIGURE 84

Muscles fléchisseurs du bras

(Il s'agit d'une vue externe :
on voit la face postérieure de l'omoplate à gauche,
alors qu'à droite il s'agit du bord antérieur de la clavicule)

B – AU NIVEAU DE LA SCAPULO-THORACIQUE :

Au niveau de cette articulation les mouvements sont de deux ordres :

1. L'élévation du moignon de l'épaule sous la dépendance du faisceau supérieur du trapèze (trapezius), de l'angulaire de l'omoplate (levator scapulae) et des digitations supérieures du grand dentelé (serratus anterior).

2. La rotation de l'omoplate :

Comme au niveau de l'articulation scapulo-humérale (A. humeri) elle est réalisée par un couple de forces musculaires de rotation scapulaire.

Il existe là encore trois forces mises en jeu : (Figure 85)

- la première s'oppose au poids du moignon de l'épaule et du bras. C'est une force de suspension développée par le faisceau supérieur du trapèze et l'angulaire de l'omoplate surtout.
- Les deux autres forces forment un couple de rotation : l'une se dirige en dedans à partir de l'acromion : c'est la force supérieure du couple de rotation, l'autre se dirige en dehors à partir de la pointe de l'omoplate (scapula) : c'est la force inférieure du couple de rotation. Ces deux forces sont égales mais de sens opposé. La force supérieure du couple est à la fois passive et active : sa composante passive est représentée par la pression de l'acromion contre la clavicule au cours du mouvement ; sa composante active par la contraction du faisceau supérieur du trapèze, des digitations supérieures du grand dentelé et de l'angulaire de l'omoplate. La force inférieure du couple de rotation correspond à la mise en jeu du faisceau inférieur du trapèze et des digitations inférieures du grand dentelé (Figure 86).

- Au cours de l'abduction du bras il existe en outre une adduction de l'omoplate du moins au cours des premiers degrés d'abduction. Celle-ci est sous la dépendance du faisceau moyen du trapèze et du rhomboïde (rhomboideus). Mise à part ce rôle d'adducteur de l'omoplate leur contraction permet la fixation de l'omoplate dans le plan du mouvement pendant toute sa durée.

- Au cours de la flexion l'omoplate tourne autour de la cage thoracique : l'activité du faisceau moyen du trapèze et du rhomboïde sera moins importante, il en est de même de celle du faisceau inférieur du trapèze dont le rôle adducteur de l'omoplate n'est pas négligeable. La force inférieure du couple de rotation est alors représentée essentiellement par la mise en tension de la partie inférieure du grand dentelé. C'est d'ailleurs la contraction du grand dentelé associée à celle du petit pectoral (pectoralis minor) qui va provoquer l'"enroulement" de l'omoplate autour du thorax.

II – L'EXTENSION DU BRAS.

A – AU NIVEAU DE L'ARTICULATION SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERI) :

- Le deltoïde (deltoideus) intervient par son faisceau postérieur. C'est l'extenseur du bras par excellence.

Le deltoïde moyen intervient partiellement si l'extension se fait en rotation externe, certaines fibres de ce faisceau étant alors déportées en arrière de l'axe du mouvement.

- Le sus-épineux (supraspinatus) participe au mouvement par sa composante radiale qui abaisse la tête humérale contre la glène.

- Le sous-scapulaire (subscapularis) intervient comme tous les rotateurs pour abaisser la tête humérale.

- Le sous-épineux (infraspinatus) participe au couple rotateurs-extenseurs en abaissant la tête humérale. Pour certains auteurs (JONES) il aurait en outre un rôle d'extenseur actif véritable.

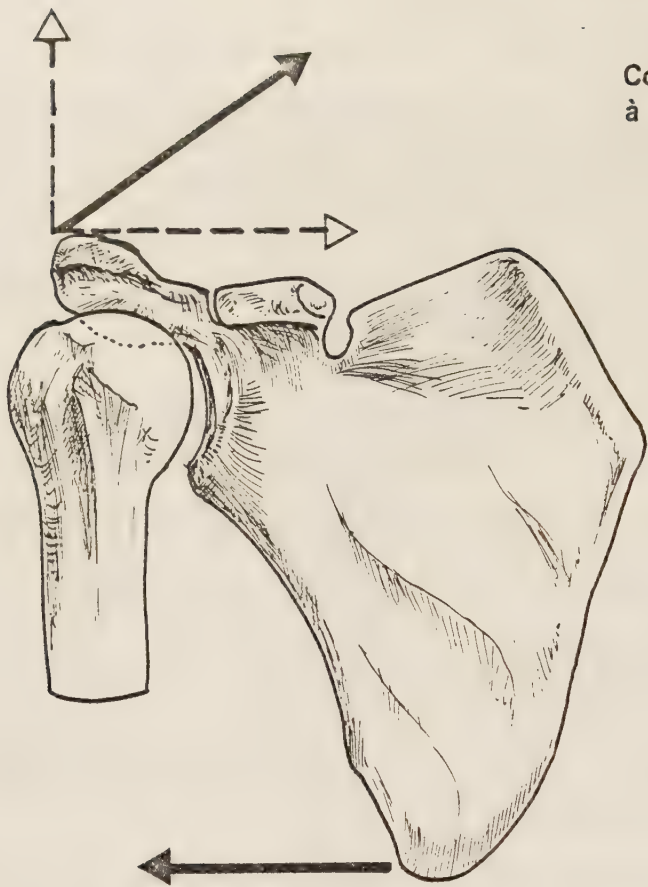
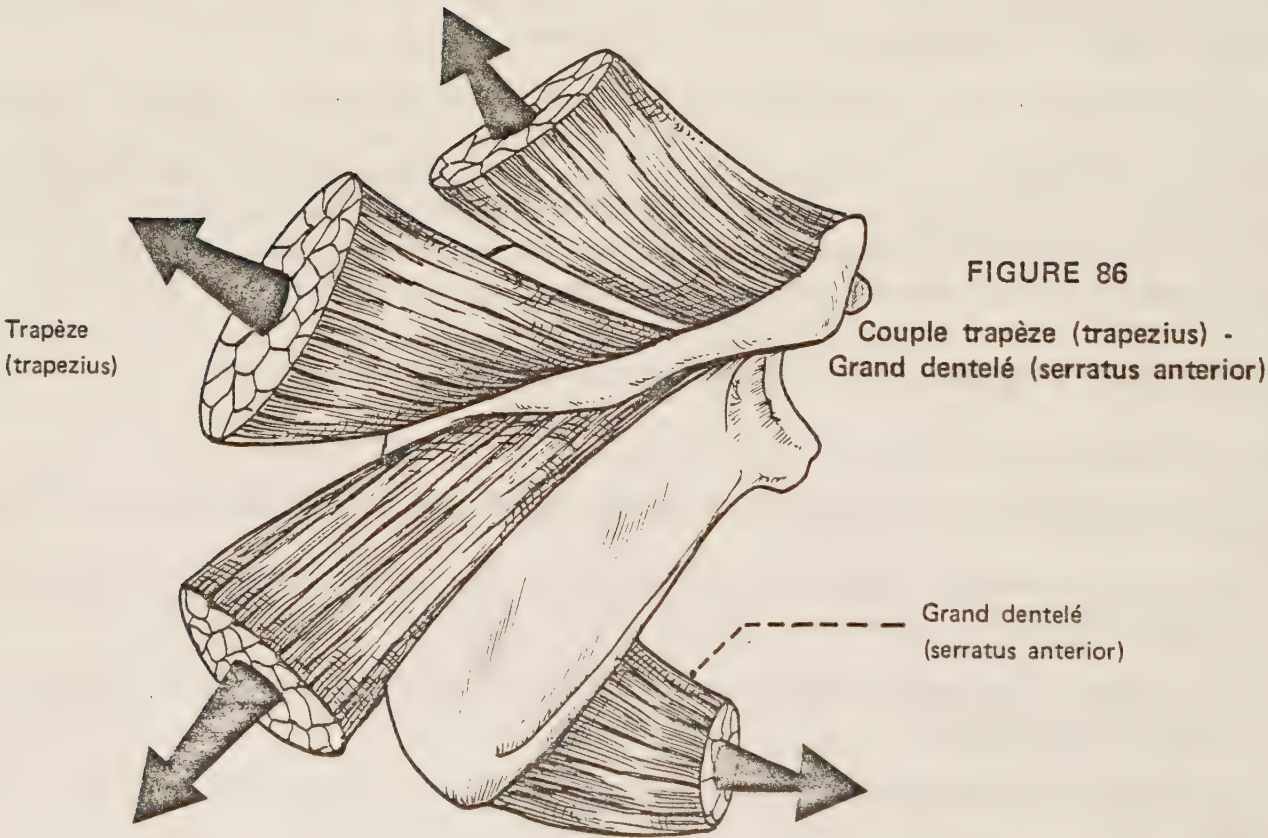


FIGURE 85

Couple de forces nécessaire
à la rotation de l'omoplate
(scapula)



Trapèze
(trapezius)

FIGURE 86

Couple trapèze (trapezius) -
Grand dentelé (serratus anterior)

Grand dentelé
(serratus anterior)

- Le petit rond (*teres minor*) et le grand rond (*teres major*) sont des extenseurs véritables de l'humérus. Ils interviennent par ailleurs pour abaisser la tête humérale comme le sous-épineux.

- Le grand dorsal (*latissimus dorsi*) doit être considéré comme un extenseur du bras véritable. Il intervient peut-être aussi pour abaisser la tête humérale.

- Le grand pectoral (*pectoralis major*) ne participe pas au mouvement.

Au total les extenseurs de l'humérus sont représentés par le deltoïde postérieur, le grand rond, le petit rond et le grand dorsal, peut-être le sous-épineux (Figure 87). Ces muscles interviennent en formant avec les rotateurs un couple de forces musculaires comme c'est le cas au cours de l'abduction et de la flexion.

B – AU NIVEAU DE LA SCAPULO-THORACIQUE :

L'adduction de l'omoplate est sous la dépendance du trapèze (*trapézius*), en particulier de son faisceau moyen, et du rhomboïde (*rhomboideus*) (Figure 88).

III – L'ADDUCTION DU BRAS.

Si partant d'une position d'élévation du bras on le ramène le long du thorax par un mouvement d'adduction une grande partie de ce mouvement est due au relâchement des muscles élévateurs et au poids du membre supérieur. Plusieurs muscles interviennent en outre dans ce mouvement :

- Le deltoïde (*deltoideus*) par ses fibres les plus internes situées en dedans de l'axe du mouvement,
- Le sous-épineux (*infraspinatus*),
- Le grand rond (*teres major*) et le petit rond (*teres minor*),
- Le grand pectoral (*pectoralis major*) en particulier son faisceau thoracique,
- Le sous-scapulaire (*subscapularis*) et le grand dorsal (*latissimus dorsi*).

Certains muscles n'interviennent que lorsque le mouvement est actif c'est-à-dire lorsqu'il s'agit d'un mouvement contre résistance qui ramène le bras, préalablement placé dans une position d'élévation, contre le thorax ou d'un mouvement d'adduction associé à une flexion ou à une extension. Il faut alors retenir le jeu de deux couples musculaires

1. Le couple rhomboïde - grand rond (Figure 89) :

Le rhomboïde (*rhomboideus*) attire l'angle inférieur de l'omoplate en haut et en dedans ce qui la fait pivoter, orientant ainsi sa cavité glénoïde vers le bas. Le grand rond (*teres major*) est adducteur s'il prend appui sur l'omoplate, mais s'il prend appui sur l'humérus il fait tourner l'omoplate, orientant sa cavité glénoïde vers le haut. La contraction simultanée des deux muscles permet au rhomboïde de s'opposer à l'action rotatoire de l'omoplate du grand rond, seule persiste son action adductrice. On retrouve là le rôle du rhomboïde comme fixateur de l'omoplate.

2. Le couple triceps (*triceps brachii-caput longum*) - Grand dorsal (*latissimus dorsi*) (Figure 90) :

La contraction du triceps empêche la subluxation vers le bas de la tête humérale que provoque la contraction isolée du grand dorsal (par sa composante radiale). Seule persiste la composante tangentielle adductrice du grand dorsal.

IV – LES MOUVEMENTS DE ROTATION.

Ce sont ces mouvements qui ont été le moins étudiés, ils sont pourtant fondamentaux et c'est vers leur étude que nous pensons ultérieurement orienter nos travaux aussi bien sur le plan cinématique que sur le plan de la physiologie musculaire.

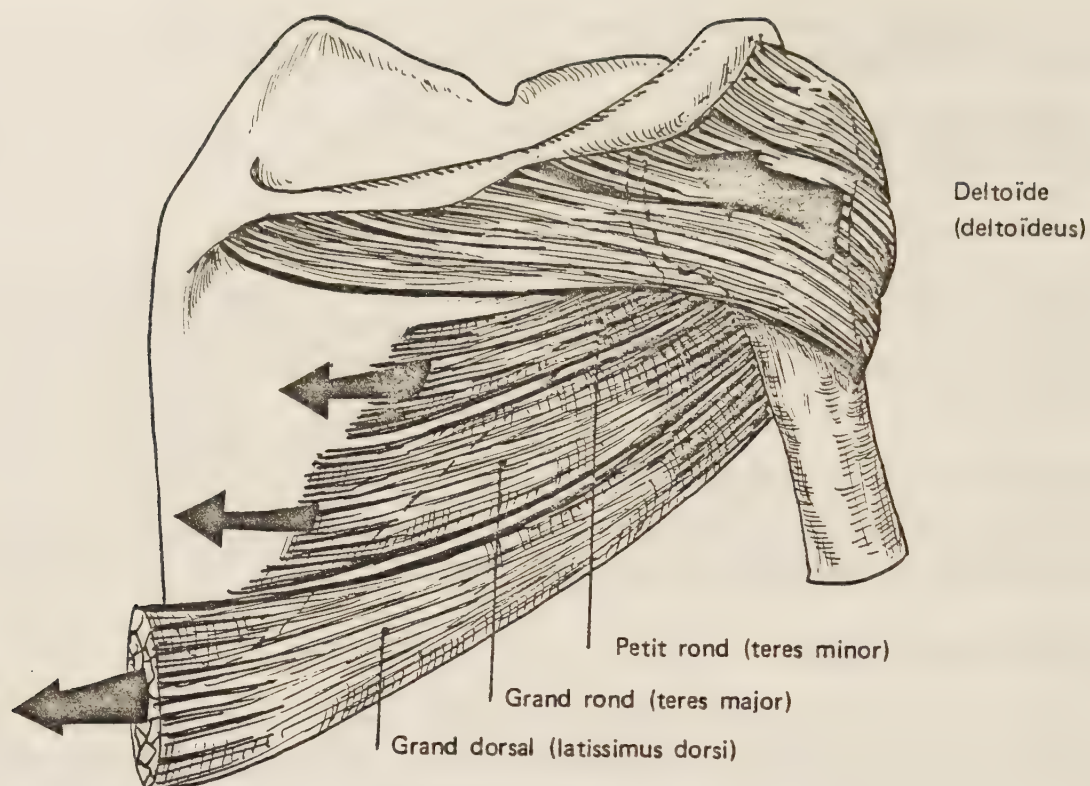


FIGURE 87

Muscles extenseurs du bras

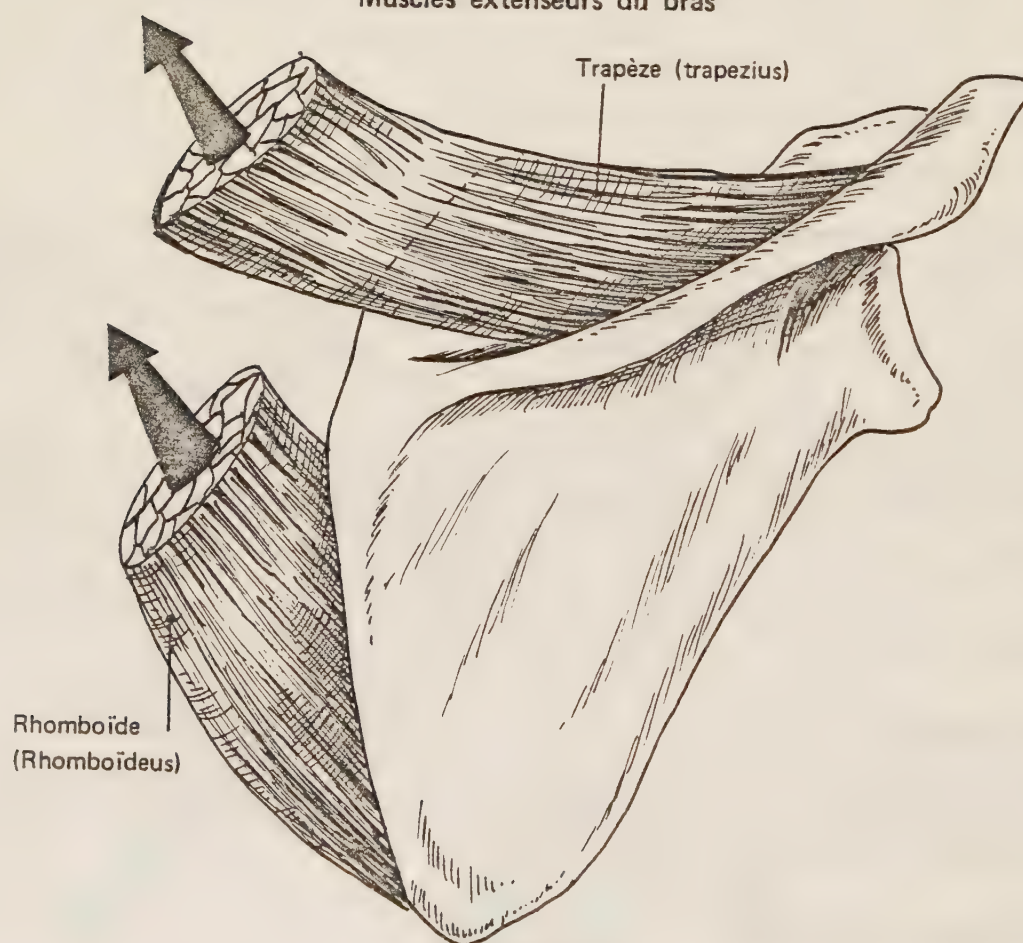


FIGURE 88

Muscles adducteurs de l'omoplate (scapula)

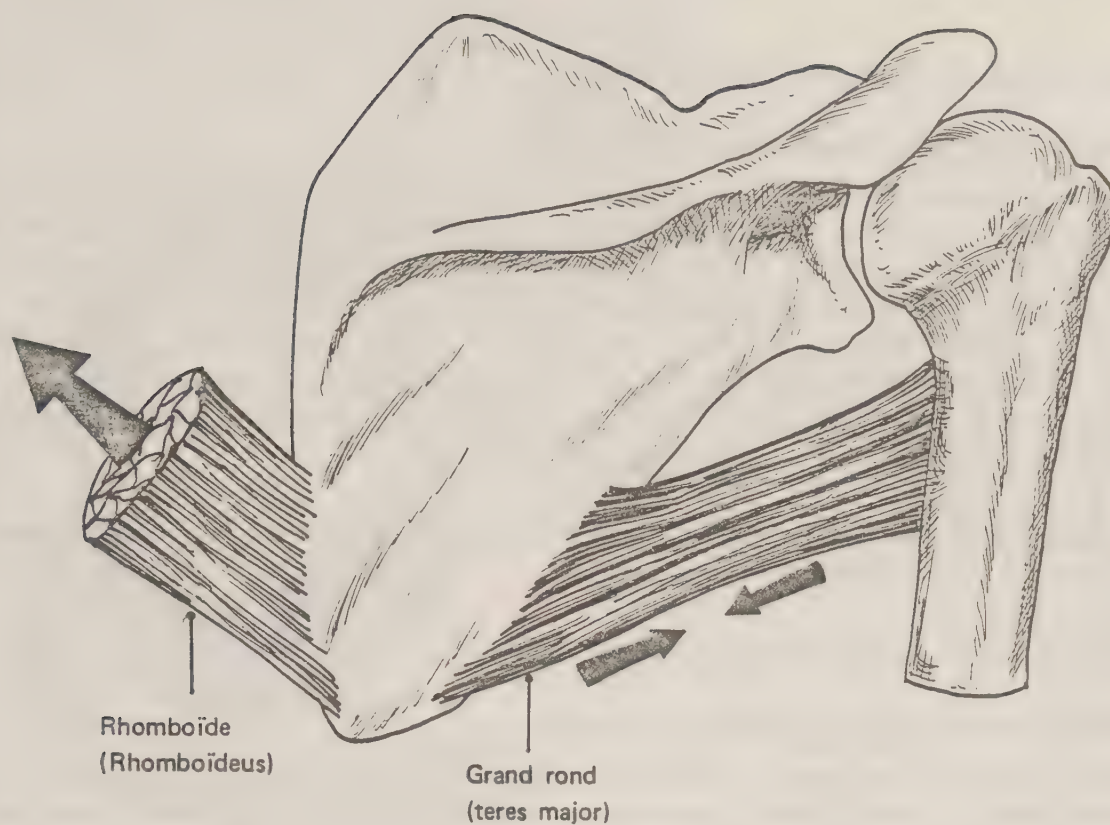


FIGURE 89

Couple Rhomboïde - Grand rond
au cours de l'adduction du bras

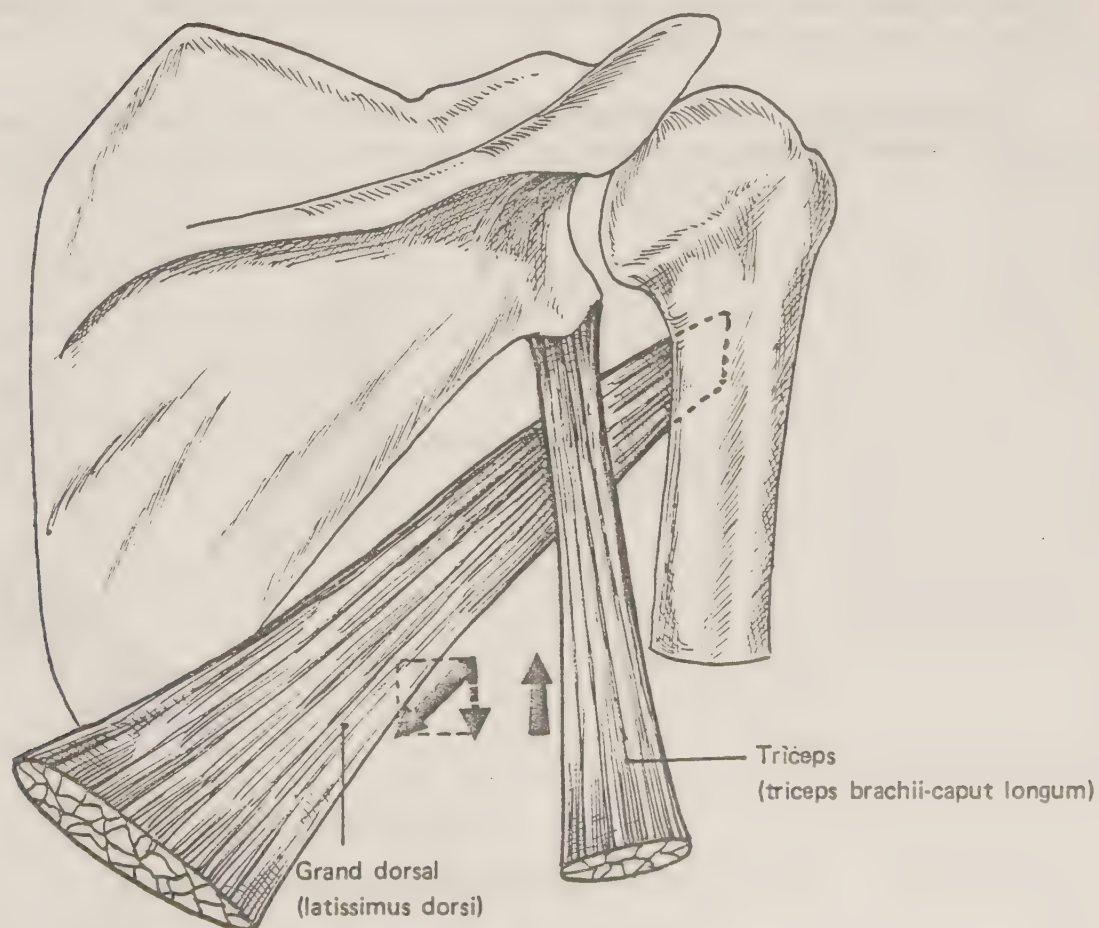


FIGURE 90

Couple Grand dorsal - Triceps
au cours de l'adduction du bras.

A – LES MOUVEMENTS DE ROTATION EXTERNE :

1. Au niveau de l'articulation scapulo-humérale (A. humeri) :

Les muscles rotateurs externes sont au nombre de deux : le sous-épineux (infraspinatus) et le petit rond (teres minor). Il est certain que la rotation externe ne peut se faire que par la mise en jeu d'un couple de forces musculaires. Si l'on connaît bien une des composantes de ce couple (sous-épineux et petit rond) l'autre est mal connue. On peut penser qu'il s'agit des muscles au niveau desquels on détecte une certaine activité électrique au cours du mouvement : en particulier le deltoïde (deltoideus) moyen et antérieur, le faisceau claviculaire du grand pectoral (pectoralis major), le sous-scapulaire (subscapularis) et le sus-épineux. Ces muscles interviendraient pour plaquer la tête humérale contre la glène au cours du mouvement (?)

2. Au niveau de l'articulation scapulo-thoracique : l'adduction de l'omoplate est sous la dépendance du trapèze (trapezius) et du rhomboïde (rhomboideus).

B – LES MOUVEMENTS DE ROTATION INTERNE :

1. Au niveau de l'articulation scapulo-humérale (A. humeri) :

Les muscles rotateurs internes sont représentés par le sous-scapulaire (subscapularis), le grand dorsal (latissimus dorsi), le grand pectoral (pectoralis major) et peut-être le grand rond (teres major) encore que ce rôle lui soit discuté par certains auteurs. Comme pour la rotation externe si l'une des composantes du couple de rotation est connue l'autre l'est beaucoup moins. Là encore on peut penser qu'il s'agit des muscles qui présentent une activité électrique au cours du mouvement ; les faisceaux antérieur et moyen du deltoïde (deltoideus), le sus-épineux (supraspinatus) et le sous-épineux (infraspinatus). Ils interviendraient de la même façon pour plaquer la tête humérale dans la glène au cours du mouvement (?).

2. Au niveau de l'articulation scapulo-thoracique : l'abduction de l'omoplate est sous la dépendance du grand dentelé (serratus anterior) et du petit pectoral (pectoralis major) (Figure 92).

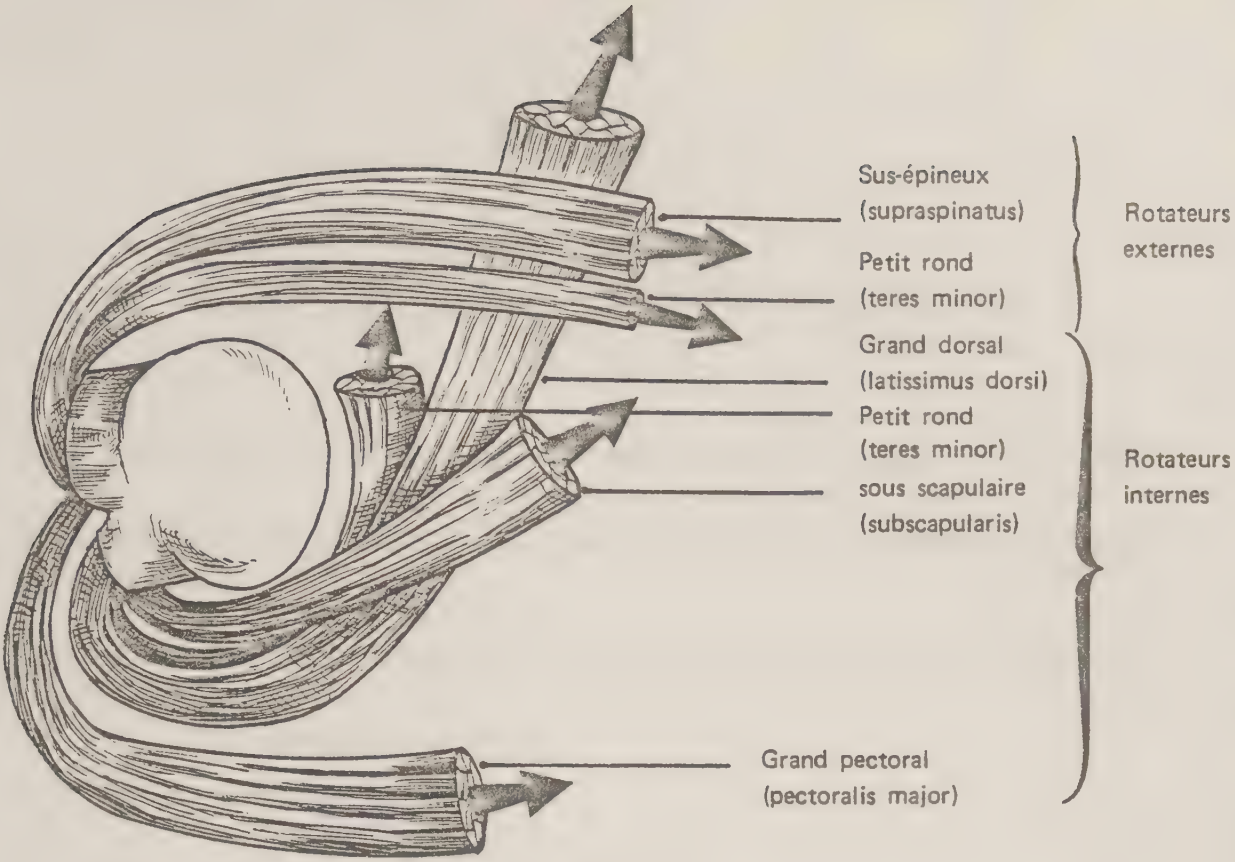


FIGURE 91
Muscles rotateurs

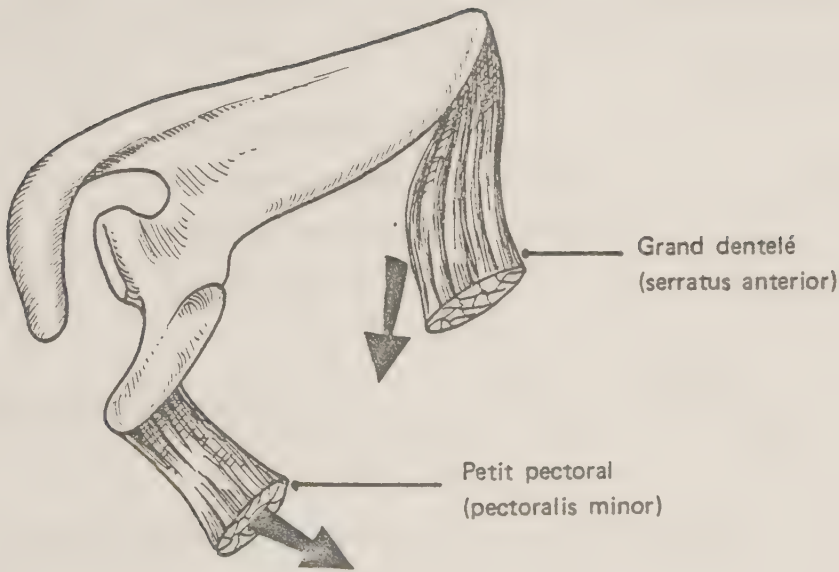


FIGURE 92
Muscles abducteurs de l'omoplate (scapula)

CHAPITRE IV

PROTHESES TOTALES DE L'ARTICULATION SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERI)

I – LES DIFFERENTS TYPES D'ARTHROPLASTIES PROTHETIQUES DE L'EPAULE.

A – LES PROTHESES HUMERALES SIMPLES ET LES PROTHESES HUMERALES MASSIVES.

B – LES PROTHESES TOTALES DE L'ARTICULATION SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERI).

1. Prothèse de J. GREYSSEL
2. Prothèse de STANMORE
3. Prothèse de LERAT
4. Prothèse de GERARD – LANNELONGUE
5. Prothèse de BUCHOLZ – ZIPPEL
6. Prothèse de NEER
7. Prothèse de MAZAS – de LA CAFFINIÈRE
8. Modèle personnel

II – A PROPOS DES PROTHESES TOTALES DE L'ARTICULATION SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERI).

1. La fixation de la prothèse
2. Le matériau utilisé
3. Prothèse retentive ou non retentive
4. La mobilité

III- LES INDICATIONS

IV- LES SOINS POST-OPERATOIRES ET LA REEDUCATION.



Le remplacement de l'articulation de la hanche par une prothèse totale a transformé le traitement de certaines coxopathies.

C'est une méthode de routine pour qui en a l'habitude et les résultats sont spectaculaires dans la plupart des cas. Au niveau de l'articulation scapulo-humérale il en est tout autrement : les indications sont infiniment moins fréquentes, la physiologie et la "mécanique" articulaire de l'épaule est différente de celle de la hanche.

Comme toute arthroplastie prothétique, une prothèse d'épaule doit permettre d'atteindre trois objectifs :

- supprimer la douleur
- assurer une épaule stable
- permettre une mobilité identique à celle d'une épaule normale.

I — LES DIFFÉRENTS TYPES D'ARTHROPLASTIES PROTHÉTIQUES DE L'ÉPAULE.

Il faut distinguer plusieurs types d'arthroplasties prothétiques de l'épaule :

- les prothèses humérales simples (ne remplaçant que la tête humérale)
- les prothèses humérales massives (remplaçant la tête humérale et une partie de la diaphyse).
- les prothèses totales.

A — LES PROTHÈSES HUMÉRALES SIMPLES ET LES PROTHÈSES HUMÉRALES MASSIVES :

Nous n'insisterons pas sur ces deux types de prothèses qui ne font pas véritablement partie de notre étude.

* Il semble que ce soit GLUCK (1891) qui le premier a dessiné une prothèse d'épaule mais il n'est pas sûr que cette prothèse ait été mise en place. Si la prothèse de NEER est la plus connue, la communication la plus ancienne, après celle de GLUCK, que nous ayons trouvée est celle de BORON et SEVIN (1951) concernant une prothèse acrylique de l'épaule fabriquée à partir d'une tête fémorale de prothèse de JUDET modifiée.

* La prothèse de NEER est bien connue (Figure 93) : son dessin reproduit l'anatomie. La prothèse est en vitallium ; le diamètre de la tête est de 44,5 mm ; il existe cinq dimensions de queue : toutes ont la même longueur mais le diamètre varie entre 6,3 et 17 mm.

Le modèle convient aussi bien pour une épaule gauche que pour une épaule droite à condition, lors de la mise en place, de la placer avec une rétroversion de 30 à 35°.

On conçoit qu'une telle prothèse convienne dans les résections à minima de la tête humérale qui permettent de conserver les muscles de la coiffe ; en revanche elle est inadaptée aux lésions où le défaut osseux potentiel est bien supérieur au corps de cette prothèse.

Si les résultats publiés par NEER sont satisfaisants aussi bien sur la douleur que sur la mobilité beaucoup d'auteurs sont moins optimistes en particulier quand il s'agit de lésions traumatiques.

* D'autres prothèses humérales ont été imaginées :

— La prothèse de KRUYER en vitallium

— La prothèse de BATEMAN avec une forme bien particulière (Figure 94) : elle est en vitallium ; sa courte queue arrondie ne dépasse pas la région métaphysaire et se bloque contre les corticales périphériques.

- Des prothèses en plastique armé (HOSTAFORM - CR : acetal copolymérisé) fabriquées par R. MATHYS : certaines munies de trous sur la partie externe de la tête prothétique pour permettre la réinsertion des muscles de la coiffe (Figure 95B) ; d'autres de profil plus classique utilisables lorsque l'insertion des rotateurs est intacte (Figure 95A).
- La prothèse de BOUSQUET à mi-chemin entre les prothèses humérales simples et les prothèses totales puisqu'il s'agit d'un modèle analogue à celui des prothèses de hanche dite "intermédiaire" adapté à l'articulation scapulo-humérale.

* Tout autre est le problème des prothèses humérales massives après résections plus ou moins large de l'extrémité supérieure de l'humérus. Certaines prothèses peuvent être fabriquées spécialement sur mesure en utilisant comme gabarit de référence le côté sain ; d'autres existent sur le marché : en silastic par exemple comme celle utilisée par KATZNER pour une métastase humérale. Le choix est alors possible entre quatre dimensions de tête (38 - 40 - 42 - 44 mm), cinq diamètres de queue (9 - 10 - 11 - 12 - 13 mm) et six longueurs de diaphyse prothétique (30 - 40 - 70 - 80 - 100 - 120 mm) (Figure 95C).

Ces prothèses permettent la résection - arthroplastie des métastases étendues de l'extrémité supérieure de l'humérus. Le but n'est pas de récupérer une mobilité active de l'épaule mais de conserver un membre supérieur.

B — LES PROTHESES TOTALES DE L'ARTICULATION SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERI) :

Par analogie avec la hanche, certains auteurs ont tenté de réaliser une prothèse totale dont le besoin est indiscutable devant la médiocrité des résultats obtenus dans certains cas avec les prothèses humérales simples. Il existe 40 à 50 modèles de prothèses totales d'épaule : certains reproduisent l'anatomie, d'autres s'en éloignent.

Nous ne pouvons bien sûr pas tous les présenter dans cette étude mais nous en avons sélectionné quelques-uns qui nous paraissent représentatifs.

1. La prothèse de J. CREYSSEL :

Notre maître J. CREYSSEL a placé en 1968 et 1969 une prothèse totale d'épaule chez deux malades. Cette prothèse comprenait deux parties : d'une part, un socle qu'on fixait sur l'omoplate par l'intermédiaire d'une courte queue enfoncée dans le pilier externe de l'omoplate ; d'autre part, une deuxième partie monobloc comprenant une glène rétentive dans laquelle s'articulait une tête humérale munie d'une queue que l'on scellait dans la diaphyse de l'humérus. Les deux parties, scellées dans leur os respectif étaient ensuite réunies avec une colle (Figure 96) .

Sur le plan fonctionnel, dans les semaines post-opératoires le résultat n'était pas bon ; mais il fût malheureusement impossible d'apprécier les résultats à long terme car un des malades est décédé deux mois après l'intervention d'insuffisance cardiaque ; l'autre malade, étranger a quitté la France.

2. La prothèse de STANMORE :

• Description de la prothèse : (Figure 97)

Les éléments de la prothèse reproduisent la configuration anatomique ou presque. C'est une articulation à calotte sphérique composée de deux éléments, chacun étant ancré dans l'os avec un ciment acrylique. Les deux éléments sont en alivium, mélange de chrome, cobalt, molybdène. La pièce glénoïdienne comprend sur son bord interne un anneau de rétention en polyéthylène qui forme lèvre ; ainsi lorsqu'on réarticule la tête humérale dans la glène, cette tête se trouve entourée par l'anneau au-delà de son plus grand diamètre, ce qui assure une stabilité en particulier dans la période post-opératoire. La pièce glénoïdienne est sphérique, elle s'encastre dans le massif

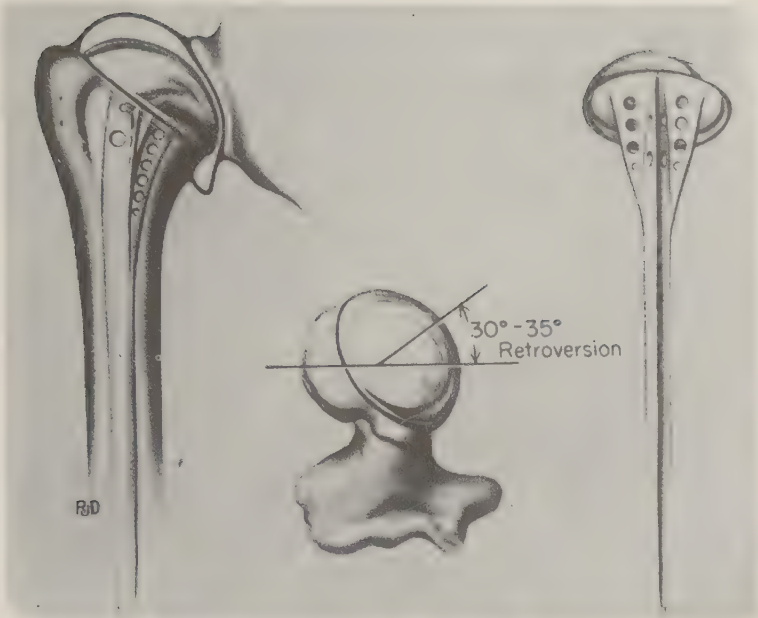


FIGURE 93
Prothèse humérale de NEER



FIGURE 94
Prothèse humérale de BATEMAN

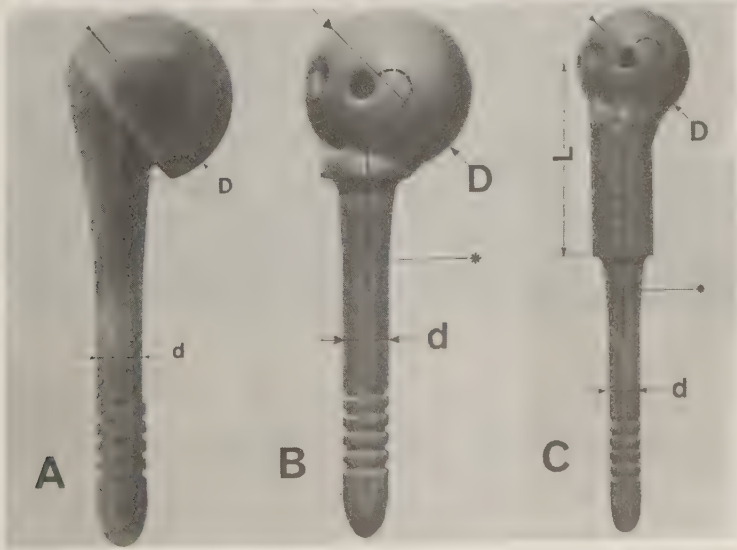


FIGURE 95
Prothèse humérale en plastic
A. Simple
B. Avec réinsertion de la coiffe
C. Pour résection massive.

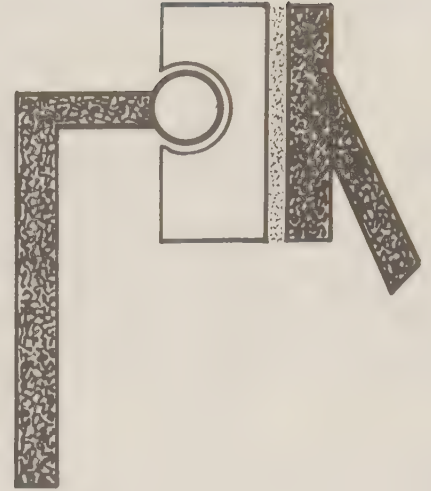


FIGURE 96 : Prothèse de CREYSSEL



FIGURE 97 : Prothèse de STANMORE

glénoïdien de l'omoplate ; sa fixation est renforcée par trois griffes : l'une supérieure, dirigée en haut et en dedans vers la base de la coracoïde ; l'autre moyenne centrale, dirigée en-dedans en direction de l'épine ; la dernière inférieure dirigée vers le pilier externe de l'omoplate. La pièce humérale comprend une tête sphérique, un col, une embase qui repose sur les corticales au niveau du plan de section céphalique et une queue scellée dans la diaphyse. Il existe deux modèles : un droit et un gauche.

Une telle prothèse permet une grande amplitude de rotation interne et externe avec 90° à 100° de flexion et d'abduction.

● Mise en place :

- La voie d'abord est antérieure : delto pectorale avec section de la coracoïde qui sera refixée en fin d'intervention.

- Luxation de la tête humérale et résection avec un large ostéotome au niveau du liseré articulaire. Lors de la section il faut tenir compte de la rétroversion de la tête (30°) par rapport au plan de l'épicondyle. La glène est exposée puis préparée : en laissant intact ses bords et en creusant surtout vers la base de la coracoïde, vers l'origine de l'épine et vers le pilier externe de l'omoplate. La métaphyse humérale et la diaphyse sont ensuite creusées.

- Scellement de la pièce glénoïdienne :

Les griffes se placent dans les cavités préalablement préparées ; le bord inférieur de la prothèse doit reposer sur le bord inférieur de la glène ; son bord supérieur n'est pas recouvert par l'os. La glène prothétique doit regarder en avant et en dehors par rapport au plan de l'omoplate.

Scellement de la pièce humérale : l'embase de la prothèse doit reposer sur les corticales réséquées : si la coupe a pu se faire dans de bonnes conditions la tête prothétique sera rétroversée de 30° , sinon (en cas de fracture par exemple) il faut absolument respecter cette rétroversion.

- Réduction des deux pièces prothétiques, la stabilité doit être bonne grâce à l'anneau de polyéthylène situé en bordure de la cavité glénoïde. La fermeture est classique sur un redon après avoir refixé la coracoïde.

- Le bras est bandé contre le thorax, la mobilisation active de l'épaule est précoce en commençant par des exercices de balancement puis en augmentant progressivement jusqu'à des mouvements de flexion, d'extension et de rotation interne. On commence vers la troisième semaine les exercices d'abduction et de rotation externe.

● Résultats :

Peu de cas ont été publiés. LETTIN en rapporte deux cas : il s'agissait d'arthrite rhumatoïdale chez une femme de 30 ans et chez un homme de 57 ans. Les résultats sur la douleur sont excellents par contre il ne précise pas le résultat fonctionnel ; il note cependant que l'homme, ouvrier peintre a repris son travail. En décembre 1976 au Saint Barthelemew's Hospital L.P. FISCHER, avec le groupe GRAAL, ont assisté à la mise en place d'une telle prothèse par LETTIN ; ils ont revu le premier malade opéré en 1969 : ce malade est satisfait, l'abduction de 45° à 50° se passe dans la scapulo-thoracique mais les gestes de la vie courante sont possibles.

3. La prothèse de LERAT :

● Description de la prothèse :

C'est une prothèse non rétentive qui comporte deux pièces : (Figure 98)

- La pièce humérale comporte une tête représentée par une sphère en plastic (qui tourne autour d'un pivot métallique) de 10 mm de rayon dont le centre est situé à 113 mm de la surface osseuse de la glène, un col, une embase qui reposera sur les corticales au niveau du plan de section, une queue. Des trous situés sur l'embase permettent la réinsertion éventuelle des rotateurs.

- La pièce scapulaire représente une demi-sphère prolongée par un cylindre de 2,5 mm (qui dépasse donc le diamètre de la sphère afin d'assurer une meilleure stabilité primaire). Elle est inclinée de 30° par rapport à la verticale. La surface d'appui sur la glène est large et la stabilité déjà assurée partiellement par quatre pattes de fixation qui encadre le massif glénoïdien où elles sont incluses après une taille adéquate. La fixation est assurée par deux vis antéro-postérieures, joignant entre elles les pattes homologues supérieures et inférieures. Deux autres vis transversales donnent au montage une solidité remarquable : une vis supérieure prend appui au niveau de la base de l'épine, une vis inférieure traverse le pilier dans sa partie la plus épaisse ; ces deux vis divergent. On peut rendre intime la solidarisation prothèse-os par un peu de ciment au moment de la mise en place avant le vissage des pattes de fixation. Le blocage définitif des vis par un bouchon de ciment est possible car la tête des vis est enfouie dans une cavité rétentive.

● Technique de mise en place :

La voie d'abord est antérieure avec section de la coracoïde. L'insertion osseuse du sous-scapulaire est relevée en même temps que la capsule. La coupe du col se fait au ras de l'insertion des rotateurs pour les préserver. Il faut prévoir que la pièce humérale sera placée en rétroversion de 30 à 35° . La préparation de la glène est beaucoup plus difficile, elle n'est possible que grâce à un matériel ensilaire adapté. La mise en place de la prothèse est alors facile : la pièce humérale est scellée, la pièce scapulaire fixée, comme on l'a dit par du ciment et des vis. La fermeture est classique.

L'immobilisation par un bandage est de 15 jours. Une mobilisation trop précoce favorise la luxation.

● Résultats :

J.L. LERAT a opéré cinq malades dans le service du Professeur A. TRILLAT à LYON.

- Dans un cas il s'agissait d'un gros fracas de l'extrémité supérieure de l'humérus opéré précocement. L'abduction globale est de 90° et la rotation interne est bonne. Pas de douleur. A noter au 15^e jour une luxation de la prothèse qui a du être réduite par voie sanglante.

- Dans un autre cas il s'agissait d'une raideur douloureuse de l'épaule après fracture-luxation postérieure opérée.

Après arthroplastie prothétique : pas de douleur, l'abduction globale est de 90° (30° dans la prothèse), la rotation interne est bonne, la rotation externe de 10° .

- Une observation concerne une nécrose primitive de l'humérus. Après arthroplastie prothétique l'abduction est de 80° la rotation interne normale. Pas de douleur. Une luxation a nécessité une réduction sanglante.

- Dans deux observations il s'agissait d'une pseudarthrose de l'extrémité supérieure de l'humérus :

- la première malade, de 88 ans, présentait une paralysie du deltoïde et une épaule très douloureuse et raide. Il s'agissait de lui rendre une épaule indolore et de permettre de l'habiller. Après arthroplastie la mobilité passive est bonne, mais la mobilité active nulle étant donné les signes neurologiques. Aucune douleur.
- le second malade présentait une épaule raide et douloureuse. Deux mois après l'intervention l'abduction atteint 120° , la flexion 110° , l'extension 50° , la rotation interne 95° , la rotation externe est nulle. Une luxation de la prothèse avait pourtant nécessité une réduction sanglante.

4. La prothèse de GERARD – LANNELONGUE :

GERARD a d'abord eu l'idée d'utiliser une prothèse totale d'épaule calquée sur la prothèse de hanche de JUDET : la pièce glénoïdienne était scellée dans l'espace compris entre le pôle supérieur de la glène, la face inférieure de l'acromion et celle de la coracoïde ; pour parfaire le montage une vis était placée de l'acromion à la coracoïde, servant de point d'appui supplémentaire



FIGURE 98 : Prothèse de LERAT

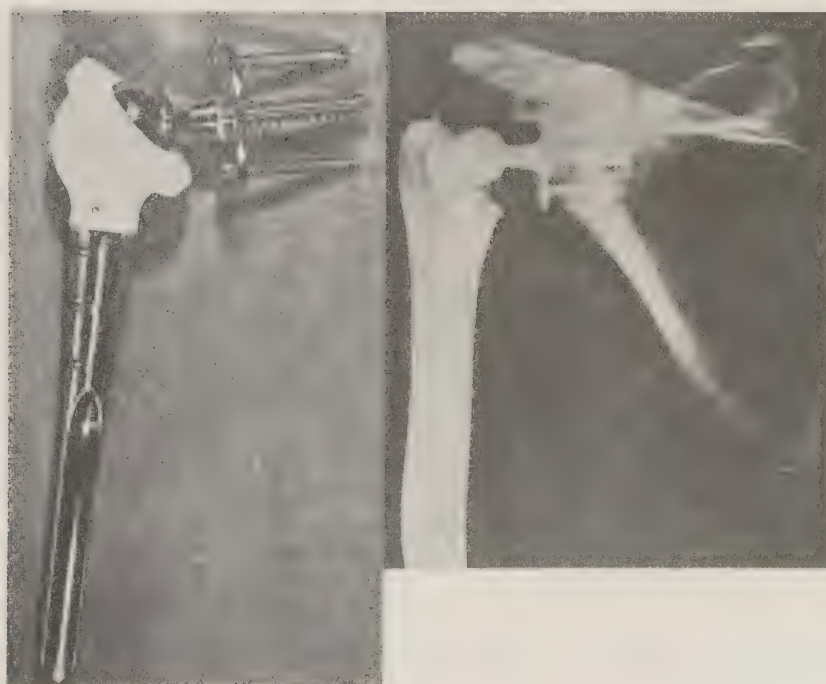


FIGURE 99 : Prothèse de GERARD

au ciment. L'expérience leur a montré que ce montage était solide mais il demande une préparation assez large de l'omoplate et déplace le centre de rotation normale de l'épaule. C'est la raison pour laquelle il s'est orienté vers un autre modèle :

● Principe :

Le principe de ce modèle est d'inverser les surfaces articulaires car il paraît plus facile de fixer une sphère sur l'omoplate et de solidariser une cupule par une tige à l'humérus. Cette inversion permet, selon les auteurs, de considérer la cupule comme une coiffe passive tournant autour de la sphère, assurant ainsi une grande mobilité.

● Description de la prothèse : (Figure 99)

La pièce humérale : la cupule est en polyéthylène précontraint, rétentive mais luxable. Elle présente à l'extérieur des sillons pour l'appui du ciment. Ses diamètres extérieur de 30 mm et intérieur de 20 mm couvrent un peu plus d'une demi-sphère. Elle est solidaire d'une queue métallique de 8 cm de long, 10 mm de diamètre ; cette queue a une section à trois pans pour éviter les mouvements de rotation dans le canal huméral ; elle présente à sa partie supérieure trois sillons horizontaux qui permettent un meilleur ancrage dans le ciment. Le diamètre de la cupule est incliné de 50° sur l'horizontale et son centre est légèrement en dedans du prolongement de l'axe de la queue.

La pièce scapulaire est faite de deux éléments : d'une part la sphère, solidaire d'une vis à bois, d'autre part, d'un socle qui s'appliquera sur la glène. La sphère (de 20 mm de diamètre) et la vis (de 40 mm de long et 6 mm de diamètre) sont monoblocs ; à leur union une portion hexagonale (de 7 mm de section) permet le vissage. Le socle est ovalaire (38 mm x 28 mm de diamètre), il présente quelques pointes à sa face profonde qui seront piquées sur la glène de l'omoplate. Sa solidarisation est assurée par deux vis : l'une se dirige vers la base de la coracoïde, l'autre dans la partie supérieure du pilier de l'omoplate. Le socle présente un manchon central filleté dans lequel passe l'axe de la sphère, ainsi vissée sur le socle et dans l'os. Autour de ce manchon une collerette de petites dents sont rabattues sur la partie hexagonale de la sphère afin de constituer un obstacle au dévissage.

Passivement la mobilité de la prothèse permet une abduction de 85 à 90° , une flexion extension normale, une rotation externe de 15° .

● Technique de mise en place :

- La voie d'abord est antérieure, deltopectorale, la plus longue possible. En haut il faut sectionner le ligament acromio-coracoïdien et si l'on veut s'agrandir il faut désinsérer le deltoïde non pas en haut mais au niveau de la branche antérieure du V deltoïdien.

- Préparation de l'extrémité supérieure de l'humérus : la tête humérale est sectionnée selon un plan oblique à 50° sur l'horizontale en partant du sommet du trochiter sur lequel viendra s'appuyer le rebord externe de la cupule. Il faut conserver chaque fois que c'est possible le massif tubérotaire avec l'insertion des muscles de la coiffe ; dans certains cas on est amené à faire une exérèse plus large et à sectionner l'humérus au niveau du col chirurgical. La métaphyse et la diaphyse sont ensuite préparées à la curette et à la rape.

- Préparation de la glène : il suffit à la pince gouge de l'aplanir quelque peu. Avec une mèche de 4 mm ou fore, un peu au dessous du centre de la glène, le passage de la vis ; il faut viser de telle façon que la mèche ressorte à la face antérieure de l'omoplate à 3 cm environ en dedans du rebord de la glène. Sur la mèche laissée en place on glisse le socle qui sera fixée par deux vis : l'une supérieure dirigée vers la base de la coracoïde, l'autre inférieure vers le pilier externe. La mèche est enlevée et la sphère vissée et serrée avec une clef de 7 avant que ne soient rabattues les dents antidévissage. La pièce humérale est scellée avec au moins 10° de rétroversion.

- la prothèse est réduite, la fermeture se fait sur un drain aspiratif. Le bras est immobilisé trois semaines en abduction.

● Résultats :

GERARD a rapporté aux journées de l'épaule (Pr. DUPARC - PARIS 1975) vingt deux cas opérés : 3 tumeurs, 10 cals vicieux, 1 ancienne résection, 5 fractures comminutives fraîches, 3 arthrites rhumatismales. Trois malades avaient moins de 60 ans, dix neuf plus de 60 ans.

Le résultat est mauvais dans 10 cas : 3 luxations (par manque de rétroversion), 4 fractures de l'axe de la sphère, 1 fracture d'une vis, 2 sepsis. Au total 5 prothèses ont été enlevées.

Douze malades sont satisfaits avec une épaule indolore et stable. Du point de vue fonctionnel la mobilité active globale de l'épaule est de 80° d'abduction dans 2 cas, 60° dans 3 cas, 40° dans 7 cas. Il faut noter cependant que ces cas concernent souvent des sujets âgés et séniles peu aptes à la rééducation et surtout chez lesquels une résection complète de l'extrémité supérieure de l'humérus a été nécessaire.

5. La prothèse de BUCHOLZ – ZIPPEL :

C'est une prothèse rétentive.

● Description de la prothèse : (Figure 100)

La prothèse comprend deux parties : l'une glénoïdienne, l'autre humérale.

- la cupule glénoïdienne est en polyéthylène de haute densité RCH 1000. Elle est rétentive : son bord périphérique dépasse le plus grand diamètre de la sphère humérale. Afin d'éviter la luxation un anneau métallique sera serré autour du bord de la cupule après la réarticulation. Le fond de la cupule est percé d'un trou par lequel passe une vis qui est vissée dans le massif glénoïdien en direction de l'épine. La tête de cette vis est enfouie au fond de la cupule afin qu'elle ne frotte pas contre la tête prothétique. Pour renforcer l'ancrage de la cupule dans le massif glénoïdien il existe deux vis à la face postérieure de cette cupule dont les têtes sont scellées dans le ciment.
- la pièce humérale est en alliage chrome-cobalt-molybdène. Elle comporte une tête réunie par un col à la queue sur laquelle des sillons et des espérités bloquent la rotation.

● Technique de mise en place :

- La voie d'abord est antérieure, deltopectorale
- La section humérale se fait à la limite du cartilage articulaire : il faut réséquer le minimum et conserver l'attache des rotateurs sur le massif tubérositaire. La petite taille de la prothèse (28mm) permet cette résection a minima.
- L'humérus est creusé à la curette et à la rape. Du côté scapulaire il faut creuser une cavité à l'intérieur du massif glénoïdien pour encastrer la prothèse. La partie centrale de cette cavité est creusée plus profondément en direction de l'épine afin d'y loger la vis centrale de la pièce scapulaire. La pièce scapulaire est scellée ; puis la pièce humérale avec une rétroversion sans laquelle la rotation interne serait limitée. Une fois les deux pièces réarticulées l'anneau métallique est serré autour du bord périphérique de la glène prothétique.

● Résultats :

ROTTGER a rapporté aux journées de l'épaule (Pr. DUPARC - PARIS 1975) treize cas de prothèses placées pour arthrite rhumatoïde, spondylarthrite ankylosante, luxation de l'épaule, nécrose de la tête humérale, échec d'arthrodèse et tumeur. Le résultat sur la douleur est bon ; par contre sur la mobilité active les chiffres moyens sont les suivants : 50° de flexion, 40° d'abduction, 40° de rotation interne, 40° de rotation externe.

Nous avons, dans le service, placé cette prothèse dans un cas : (Figure 100)

Observation 62585 : IMB...

Il s'agit d'une femme de 62 ans qui présentait une raideur et des douleurs de l'épaule après un cal vicieux de l'extrémité supérieure de l'humérus droit. La mobilité préopératoire était la suivante : abduction 45° , flexion 45° , extension 30° , rotations nulles. Intervention le 20.3.1975 : mise en place de la prothèse. En peropératoire la mobilité dans la prothèse permet 90° d'abduction et 100° de flexion. Revue en Mars 1977 au 24^e mois : les douleurs sont minimales ; porte la main à la bouche et dans le dos ; la mobilité active globale permet 70° d'abduction 30° d'adduction, 15° de flexion, 45° d'extension, 95° de rotation interne, 45° de rotation externe.

6. La prothèse de NEER :

Reproduit exactement l'anatomie.

● Description de la prothèse (Figure 101) :

Cette prothèse correspond à la classique prothèse humérale de NEER totalisée :

- La pièce humérale est légèrement modifiée par rapport à la prothèse humérale dont nous avons déjà parlé. Elle est en vitallium. Le diamètre de la tête est de 44 mm ; il existe deux types de prothèses : l'une avec un col long qui permet, si nécessaire, d'augmenter le bras de levier, l'autre avec un col plus court. Pour chacun de ces modèles il existe trois diamètres de queue (6,4 mm, 9,5 mm et 12,7 mm).

- La pièce scapulaire reproduit l'anatomie de la glène. Elle est en polyéthylène, son rayon est le même que celui de la tête prothétique. Une lame triangulaire perpendiculaire à la face convexe de la pièce scapulaire permet sa fixation dans le massif glénoïdien de l'omoplate.

● Technique de mise en place :

- La voie d'abord est antérieure, deltopectorale avec section du deltoïde le long de la clavicule et de l'acromion.

- La tête est sectionnée à l'ostéotome au niveau de la limite cartilagineuse de telle façon que l'on puisse donner une rétroversion de 30 à 35° à la prothèse.

Une cavité triangulaire est creusée dans la métaphyse humérale pour y loger la partie supérieure de la queue, la diaphyse est ensuite préparée à la curette et à la râpe. Du côté scapulaire une cavité est préparée dans la partie centrale de la glène. La partie périphérique de la glène est conservée, elle servira de point d'appui à la cupule.

- Les deux pièces prothétiques sont scellées en prenant soin de donner 30 à 35° au moins de rétroversion à l'humérus. Les muscles sont soigneusement réparés en particulier le deltoïde et le sous-scapulaire.

- Le bras est immobilisé coude au corps sauf lorsque la réparation des rotateurs a été difficile (le bras est alors placé en abduction et légère rotation externe).

● Résultats :

NEER rapporte un cas personnel, quatre cas de STILLBRINK et trois de KENMORE ; il s'agissait de lésions rhumatismales qui touchaient les deux surfaces articulaires. Pour NEER les résultats sont aussi satisfaisants que ceux obtenus avec une prothèse humérale simple. Au congrès d'orthopédie canadien de 1976 cet optimisme fût tempéré par certains auteurs.

7. La prothèse de MAZAS — de LA CAFFINIÈRE :

Après une étude approfondie de la physiologie et de la biomécanique de l'épaule les auteurs ont mis au point leur prothèse dont la conception s'éloigne un peu des prothèses dont on a déjà parlé.

● Description de la prothèse : (Figure 102)

La prothèse est faite de deux pièces non rétentives : la cupule est en polyéthylène, la pièce humérale en acier inoxydable.

Le qualibre de la prothèse a été calculé pour que son centre de rotation soit proche de celui d'une épaule normale. La tête humérale de 38,5 mm de diamètre est située à l'extrémité d'une queue prismatique triangulaire, légèrement déportée en dehors. Il existe une bande de glissement postérieur qui sert de repère au cours de la mise en place afin de respecter la rétroversion de la tête humérale. Le support de cette bande est encastré dans une échancrure creusée dans le trochiter.

La cupule en polyéthylène présente sur sa face convexe une surface à trois pans coupés : le pan supérieur s'adapte à la face inférieure de l'acromion ; le pan vertical est muni d'un téton taillé dans la masse qui servira d'ancrage dans une cavité glénoïde préalablement creusée. La fixation à l'acromion est réalisée par une ou deux vis : un ou deux canaux sont forés, dans la cupule pendant l'intervention ; les vis y sont introduites par le bord postérieur de la cupule au moment du scellement en direction de l'acromion. La cupule est cerclée d'un petit fil métallique autour du plan d'ouverture afin de repérer sa position sur les clichés post-opératoires.

● Technique de mise en place :

- Malade en décubitus latéral bras en abduction (80°) et flexion (30°). Voie d'abord postérieure (justifiée par la rétroversion naturelle de la tête humérale et par le meilleur jour que donne cette voie sur la glène).

- L'incision suit le bord inférieur du faisceau postérieur du deltoïde jusqu'à l'extrémité interne de l'épine. Le faisceau postérieur du deltoïde est désinséré de l'épine jusqu'à l'angle postérieur de l'acromion, le sus-épineux excisé complètement, le sous-épineux désinséré du trochiter.

- La tête humérale est luxée puis sectionnée selon un plan de coupe correspondant à l'inclinaison de l'embase de la prothèse humérale. La glène est creusée : évidemment de l'os sous chondral et du spongieux en allant vers le pilier externe de l'omoplate et vers la base de la coracoïde. La face inférieure de l'acromion est avivée par de petites rainures qui vont permettre à une couche de ciment de s'ancrer sous celle-ci. Le trajet des vis est préparé à la mèche de 3,5 mm ; les vis de 5 mm prendront appui sur le bord postérieur de la cupule, sortiront au niveau de son toit avant de venir s'implanter dans l'acromion. La cupule est scellée : le téton situé sur le pan vertical de la cupule doit être placé en plein centre de la glène et l'appui doit être correct sous le toit acromial. La pièce humérale est scellée dans la position de rétroversion physiologique ; la bande de glissement encastrée dans une échancrure tracée dans le trochiter.

- La réparation du sous-épineux et du deltoïde doit être soignée. Le bras est immobilisé en abduction (45°) et rotation externe (30°) pendant 15 jours.

● Résultats :

Les auteurs ont opéré sept malades : 3 fractures-luxations anciennes, 2 nécroses post-traumatiques, 1 polyarthrite rhumatoïde, 1 arthrose. Dans un cas le recul n'est pas suffisant pour pouvoir juger du résultat. Six observations restent utilisables :

- un descellement par malposition a dû être repris.
- pas de luxation, pas de sepsis
- la mobilité est relativement bonne puisque dans l'ensemble le résultat est très bon dans deux cas, bon dans un cas, moyen dans deux cas et médiocre dans un cas. le seul défaut noté par les auteurs est l'absence de rotation externe active. Nous avons eu personnellement l'occasion de voir un malade opéré par les auteurs de cette prothèse : le résultat fonctionnel dans ce cas était très satisfaisant si ce n'est le défaut de rotation externe noté par les auteurs.

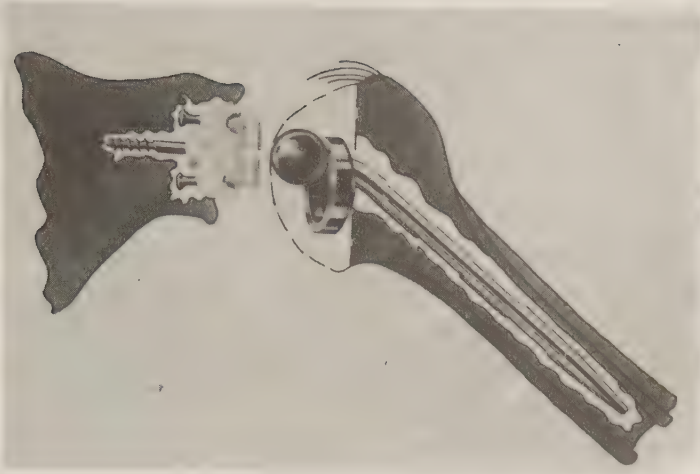


FIGURE 100 : Prothèse de BUCHOLZ-ZIPPEL

FIGURE 101 : Prothèse totale de NEER

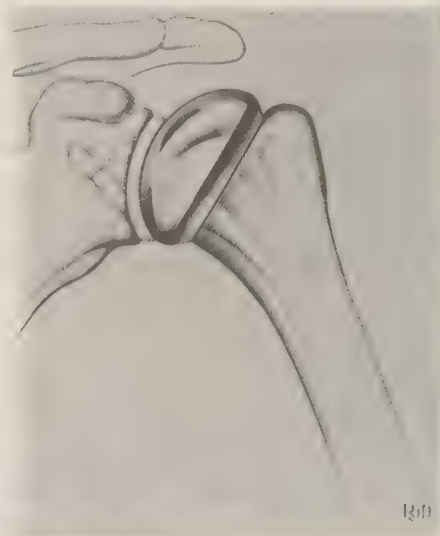


FIGURE 102 : Prothèse de MAZAS - de la CAFFINIÈRE
(vue postero-externe).

8. Modèle personnel :

Partant des études cinématiques dont nous avons déjà parlé, nous avons avec L.P. FISCHER, G.P. GONON et J. DIMNET conçu un modèle original d'arthroplastie prothétique de l'épaule. Puisqu'il existe deux centres de rotation au niveau de l'articulation scapulo-humérale (A. humeri), il faut retrouver ces deux centres au niveau de la prothèse : c'est la raison pour laquelle celle-ci correspond à une **double rotule**.

• Description de la prothèse : (Figure 103)

Cette prothèse comporte trois parties : une partie scapulaire, une partie humérale et une partie intermédiaire qui réunit les deux premières.

La pièce scapulaire est constituée d'un socle qui vient se plaquer contre la glène ; il présente une légère concavité externe à grand rayon. Sur ce socle se fixe par l'intermédiaire d'un axe de 7 mm une sphère de 18 mm en chrome-cobalt-forgé qui regarde en bas et en dehors. La fixation dans l'omoplate est assurée par une lame de 40 mm de long située sur la face interne du socle et qui va traverser le massif glénoïdien pour ressortir au niveau de la corticale antérieure de ce massif à environ trois centimètres du bord antérieur de la glène. Une lame de 25 mm parallèle à la précédente vient se plaquer contre la corticale antérieure du massif glénoïdien. Une vis de 4,5 mm de diamètre antéro-postérieure traverse successivement la lame antérieure, la corticale antérieure, la lame moyenne et la corticale postérieure. (Figure 104).

La pièce humérale comporte une sphère de 18 mm de diamètre réunie à une embase par un axe de 8 mm. La queue est en porométal. Il existe deux tailles de même longueur (105 mm) mais de diamètres différents (9 et 11 mm).

La pièce intermédiaire correspond à un cylindre métallique creux à l'intérieur duquel se trouve serties deux cupules en polyéthylène qui s'opposent par leur convexité.

Les dimensions des cupules sont identiques : 9 mm de rayon. Elles sont rétentives (mais luxables) puisqu'elles dépassent de 3,5 mm le plus grand rayon de chaque sphère.

Cette pièce intermédiaire existe en trois tailles : les dimensions des cupules ne varient pas, seules changent les dimensions extérieures du cylindre métallique : 28 mm, 30 mm et 32 mm.

La mobilité permise par cette double rotule est très grande (Figure 105) : l'abduction et la flexion atteignent 160° , les rotations ne sont pas limitées. Cette prothèse est fabriquée par R. TORNIER.

• Technique de mise en place : (Figure 104).

La voie d'abord est antérieure deltopectorale ; elle descend assez bas jusqu'à l'insertion du deltoïde (deltoideus) ; le muscle n'est pas désinséré. Le sous-scapulaire (subscapularis) est sectionné verticalement à la jonction de ses fibres tendineuses et de ses fibres charnues. En dedans la fosse sous scapulaire est ruginée sur trois centimètres. La luxation est facile.

La préparation de l'humérus : la tête humérale est sectionnée au niveau du col anatomique. Le problème de la rétroversion ne se pose pas avec cette prothèse. Il faut essayer de conserver le maximum d'insertions des rotateurs. Dans certains cas les lésions sont telles que la section se fait au niveau du col chirurgical. Dans ces cas l'embase de la prothèse reposera sur les corticales au niveau de la section. Quand la résection a été purement céphalique il faut creuser à la curette la métaphyse de façon à y loger la partie supérieure de la pièce humérale (Figure 104). La diaphyse est préparée à la curette et à la rape.

La préparation de la glène : ses bords sont régularisés à la pince gouge. Une lame de lambotte prépare le trajet de la lame de fixation de la pièce scapulaire. Il faut enfoncer cette lame de lambotte exactement à la partie moyenne de la glène aussi bien dans le sens vertical que dans le sens antéro-postérieur ; il faut la diriger en dedans et viser de telle façon qu'elle ressorte au niveau de la corticale antérieure, dans la fosse sous-scapulaire à trois centimètres du bord

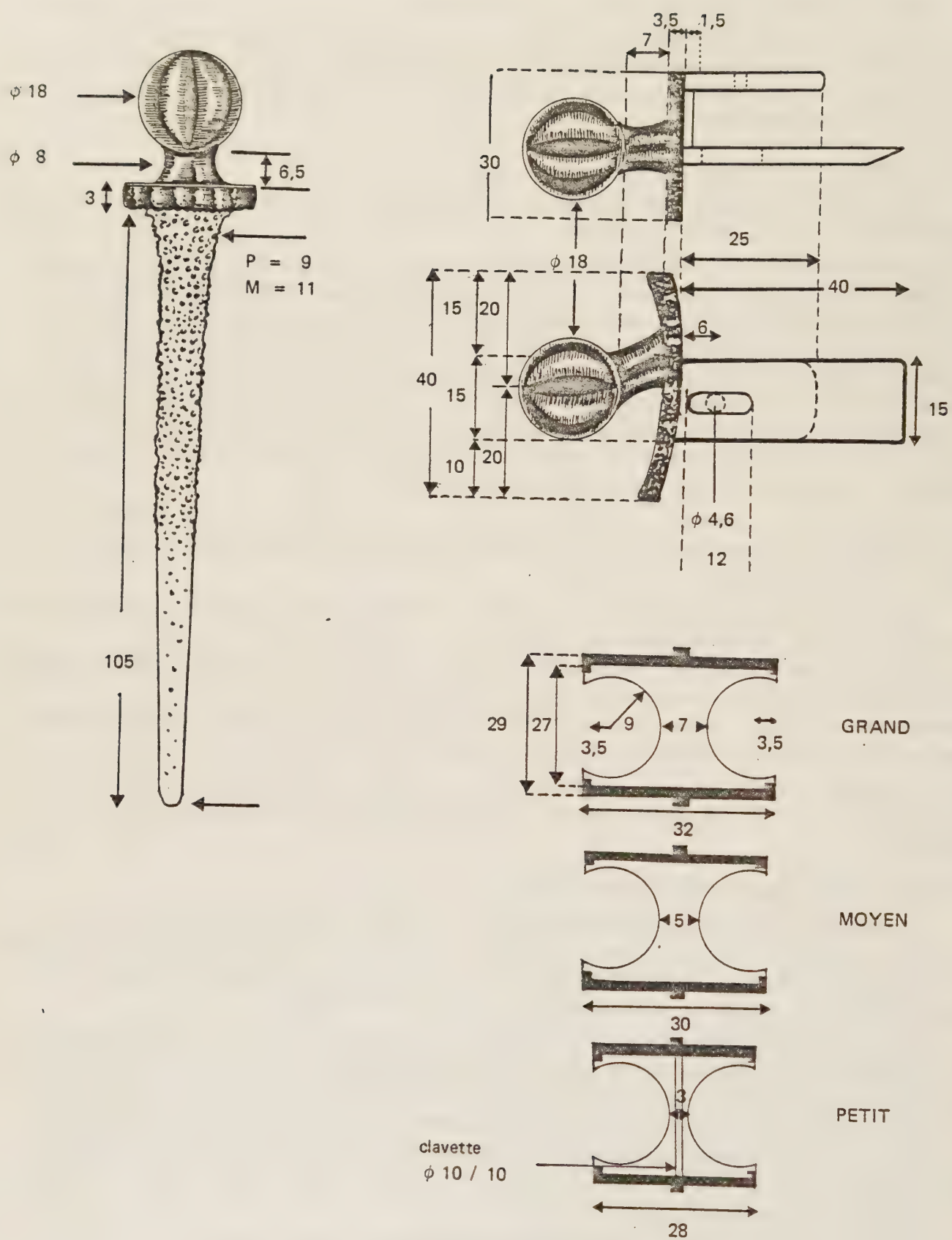


FIGURE 103

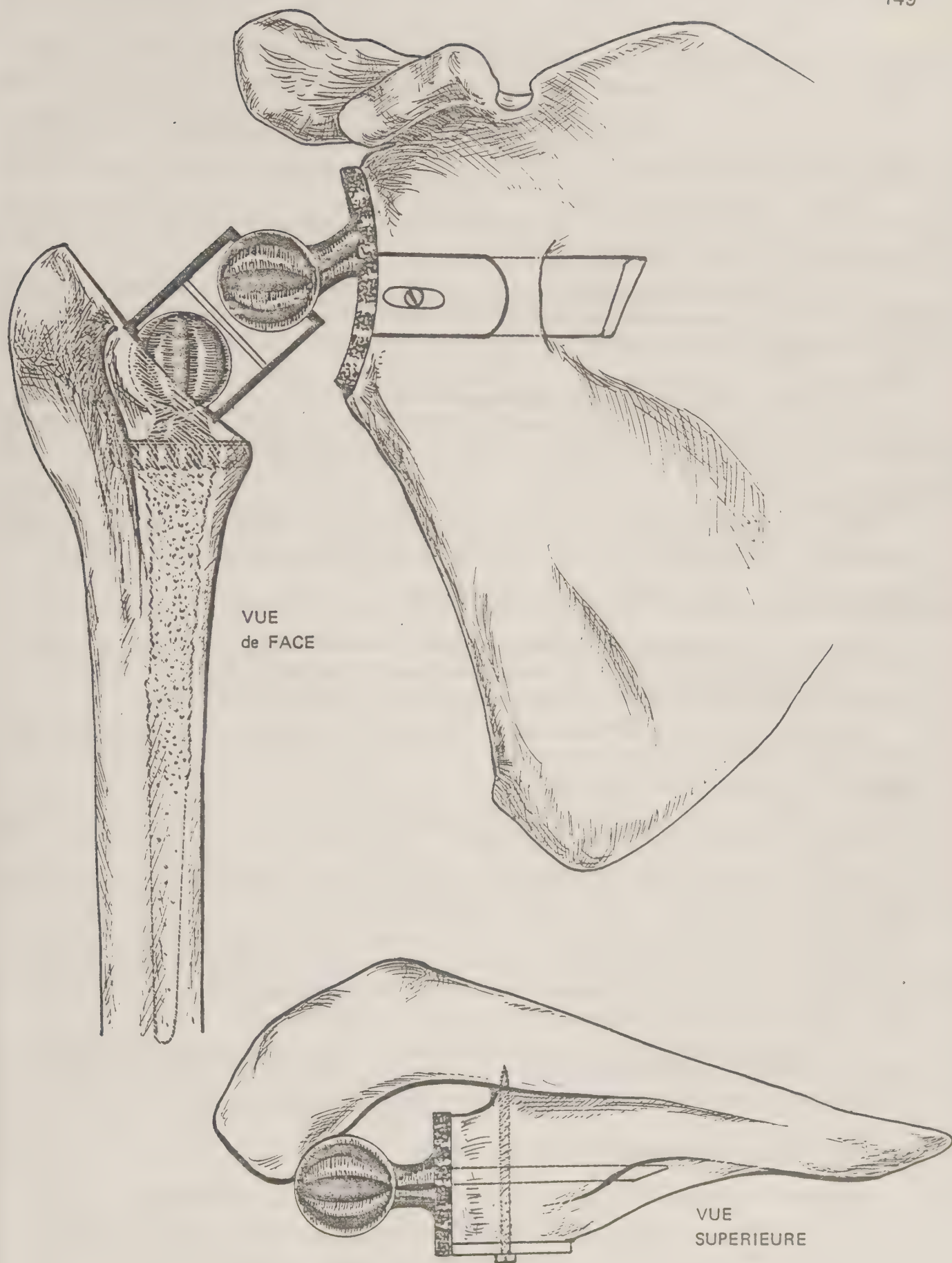


FIGURE 104

Prothèse en place

antérieur de la glène. La pièce scapulaire est ensuite fixée : sa lame de fixation doit emprunter le trajet préalablement préparé. La lame antérieure de cette pièce scapulaire doit venir se plaquer contre la corticale antérieure du massif glénoïdien. Une vis de 4,5 mm antéro-postérieure traverse successivement la lame antérieure de la prothèse, la corticale antérieure, la lame moyenne et la corticale postérieure du massif glénoïdien.

La pièce humérale est ensuite fixée.

Elle est scellée dans certains cas où la diaphyse est large. L'embase doit reposer sur la corticale interne au niveau du plan de section.

Les deux pièces sont ensuite réunies par le cylindre intermédiaire dont la taille est choisie pour que la tension des muscles soit aussi physiologique que possible.

Les deux sphères métalliques scapulaire et humérale entrent en force dans les cupules en polyéthylène.

Après suture du sous-scapulaire (subscapularis) la fermeture se fait sur un redon. Le bras est immobilisé sur un thoraco-brachial en abduction à 90°, dans le plan de l'omoplate et légère rotation externe.

● Résultats :

Nous présentons ici les observations des malades opérés dans le service. Ces malades sont suivis régulièrement et l'évolution est notée sur une fiche d'examen de l'épaule (voir page suivante).

Observation n° 1 : (GUI... Marthe, 64 ans, Obs. 67174).

Fracture-luxation complexe de l'épaule gauche le 11.2.1976. Opérée le 19.2.1976 : arthroplastie par prothèse totale de l'épaule sans incident. Le bras a été immobilisé sur thoraco-brachial pendant 2 mois. Si la mobilité du bras après l'ablation du thoraco-brachial était encourageante, deux mois après il existait une raideur.

Revue le 16.3.1977 au 13^e mois : pas de douleur ; met la main à la bouche, dans le dos, ne met pas la main à la nuque. La mobilité est la suivante : abduction 80°, flexion 70°, extension 35°, rotation interne 40°, rotation externe 10° (voir clichés dynamiques figure 106).

Observation n° 2 : (COM... , 78 ans, Obs. privée).

Il s'agit d'un malade de 78 ans, ancien chirurgien, parkinsonien qui présente depuis deux ans une épaule droite douloureuse qui se luxé en haut et en avant lors de la mobilisation active du bras.

Opéré le 30.6.1976 : Voie d'abord antérieure. Il existe une poche sous le deltoïde. Dès l'incision de la capsule la tête humérale fait saillie "comme un piston". Il n'existe pratiquement plus de sus-épineux et plus de sous-scapulaire. Le tendon du biceps est aminci, rougeâtre il sera réinséré en fin d'intervention sur la coracoïde. Mise en place de la prothèse. La pièce humérale est scellée.

Au 3^e jour post-opératoire le malade fait une chute et luxé sa prothèse au niveau de la rotule inférieure. Réduction sanglante au 8^e jour. Nous avons su que la prothèse est à nouveau luxée. Au congrès d'orthopédie américain de 1976 l'attention a été attirée sur le risque de luxation des prothèses chez les parkinsoniens.

Observation n° 3 : (LAI... Marcel, 65 ans, Obs. 68586).

Pseudarthrose de l'humérus gauche après fracture du col chirurgical traitée par plâtre pendant

Opéré le 5.8.1976 : arthroplastie totale de l'épaule (Figure 107). La pièce humérale est scellée. Les suites opératoires ont été difficiles chez ce malade psychiatrique puisqu'il a présenté un syndrome épaule-main avec de gros troubles physiopathiques lentement régressif. Revu le 12.8.1977 au 12^e mois : pas de douleur ; met la main à la bouche, dans le dos, ne met pas la main à la nuque. La mobilité est la suivante : flexion 70°, extension 40°, abduction 90°, adduction 20°, rotation interne 60°, rotation externe 5°.

FICHE D'EXAMEN DE L'EPAULE

Clinique de Chirurgie Orthopédique
Professeur G. de MOURGUES

Nom Prénom Date de naissance Sexe ☐ M ☐ F

Profession Droitier ☐ Gaucher ☐

N° du dossier Date de l'examen 19 AT ☐ AS ☐

NATURE DE L'AFFECTION : Côté ☐ D ☐ G Date de début de l'affection 19

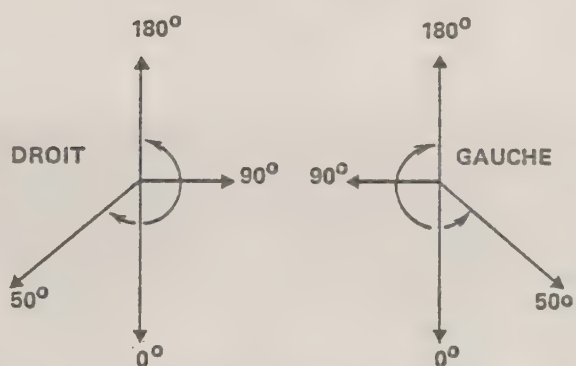
Traumatisme : ☐ oui ☐ non Date de la dernière intervention 19

Diagnostic (probable) Type de la dernière intervention

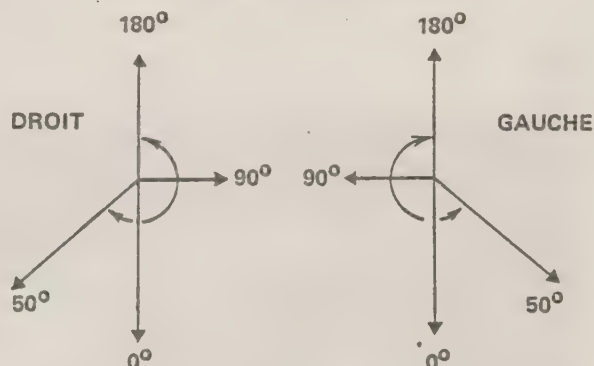
	D 0 G	D 2 G	D 4 G	D 6 G
DOULEUR (D)	Intolérable	— limite l'activité — prend des antalgiques — nocturne	Douleur minime	Pas de douleur
FONCTION (F)				
Main à — bouche — dos — nuque	Aucun geste possible	1 geste possible 2 gestes impossibles	— 2 gestes possibles, 1 geste impossible — ou 1 geste possible, les 2 autres presque réalisés.	3 gestes possibles.

FLEXION — EXTENSION — MOBILITE GLOBALE

MOBILITE PASSIVE

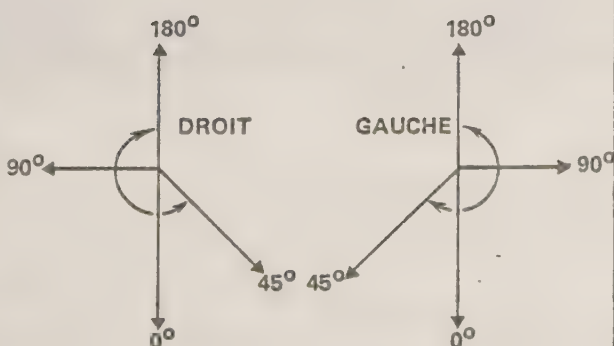


MOBILITE ACTIVE

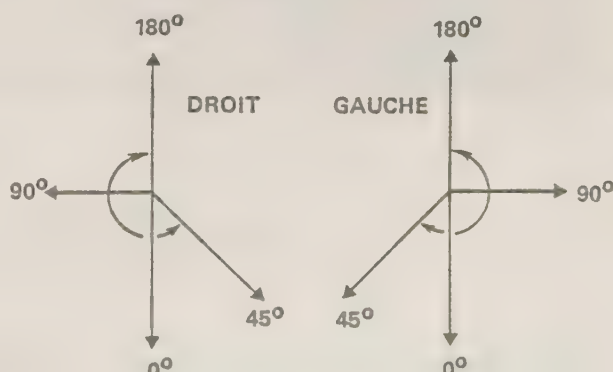


ABDUCTION — ADDUCTION — MOBILITE GLOBALE

MOBILITE PASSIVE



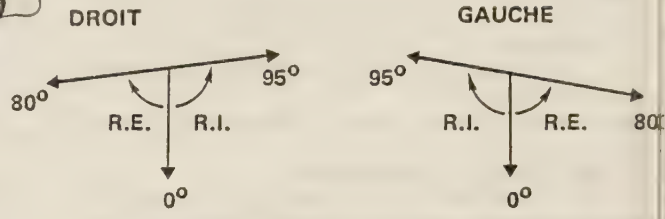
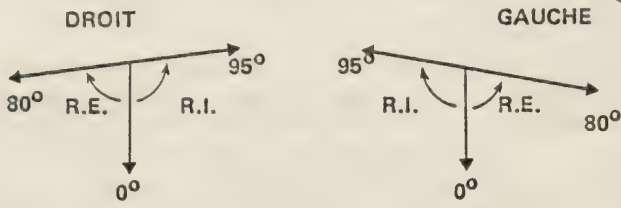
MOBILITE ACTIVE



ROTATION – MOBILITE GLOBALE

MOBILITE PASSIVE

MOBILITE ACTIVE



TOTAL DES MOUVEMENTS GLOBAUX PASSIFS (M.P.)

TOTAL DES MOUVEMENTS GLOBAUX ACTIFS (M.A.)

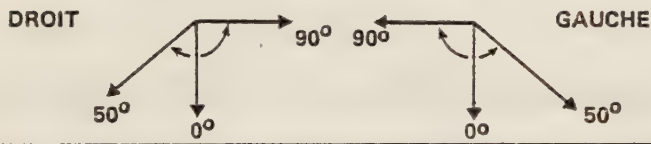
DROIT	0	200	385	450	630
	0	2	4	6	
GAUCHE	0	200	385	450	630
	0	2	4	6	

DROIT	0	200	385	450	630
	0	2	4	6	
GAUCHE	0	200	385	450	630
	0	2	4	6	

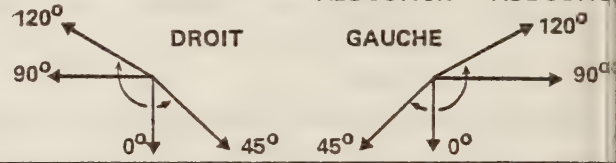
La mobilité active est-elle identique avec un poids de 500 g
dans la main D ☐ oui ☐ non G ☐ oui ☐ non

MOBILITE DANS LA SCAPULOHUMERALE UNIQUEMENT

FLEXION – EXTENSION

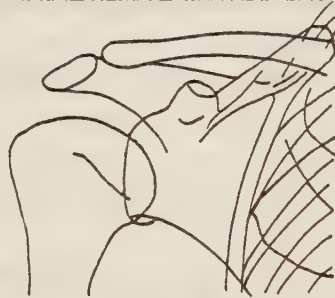


ABDUCTION – ADDUCTION



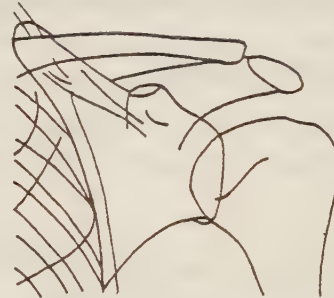
RADIO

DROITE

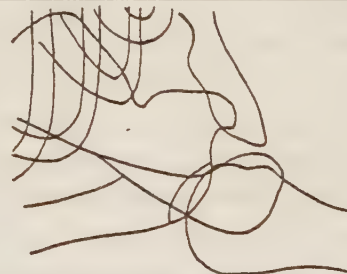
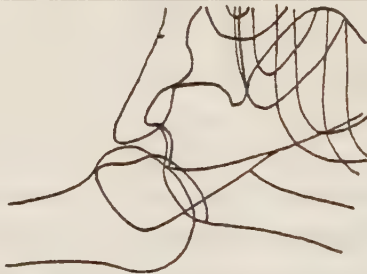


FACE

GAUCHE



PROFIL



ASSOCIATIONS : Troubles neurologiques :
Troubles trophiques :
Divers :

Musculature :
Colonne cervicale :

TOTAL :

D :				
G :				
	D	F	MP	MA
	Mobilité globale			

CONCLUSIONS :

Nom de l'examineur

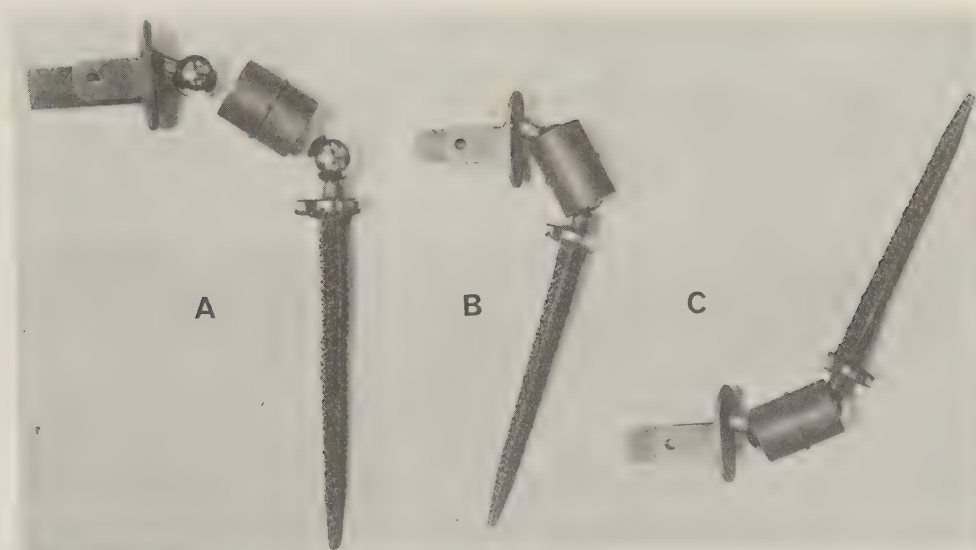


FIGURE 105 : Prothèse double rotule

- A. Non réduite
- B. En adduction
- C. En abduction

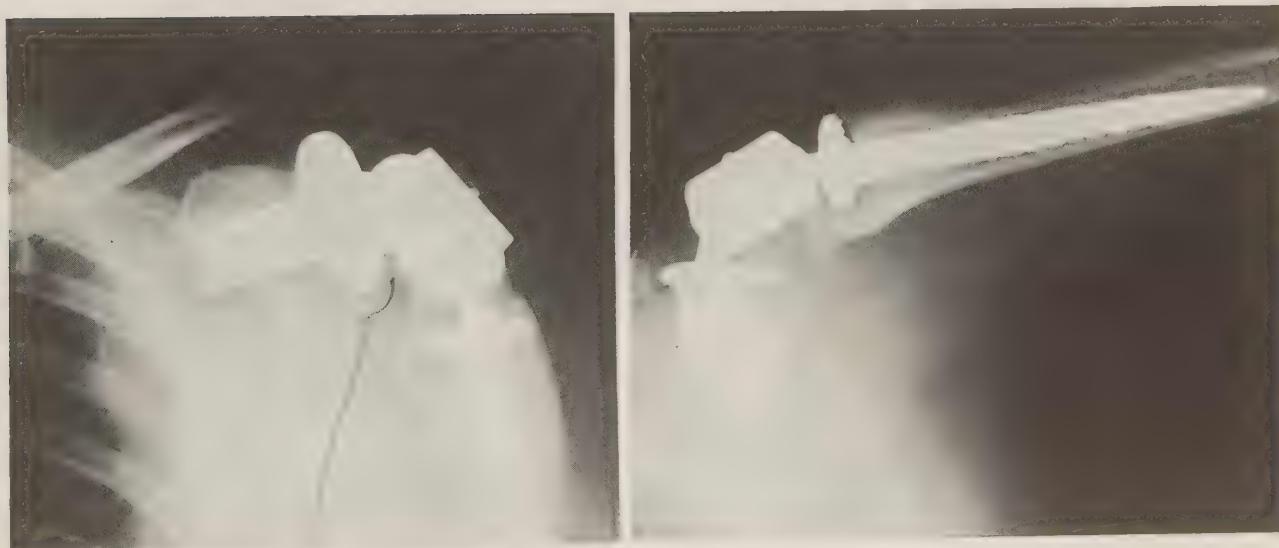


FIGURE 106 : GUI... Marthe - Obs. 67174

A gauche au repos, à droite en abduction active maximum

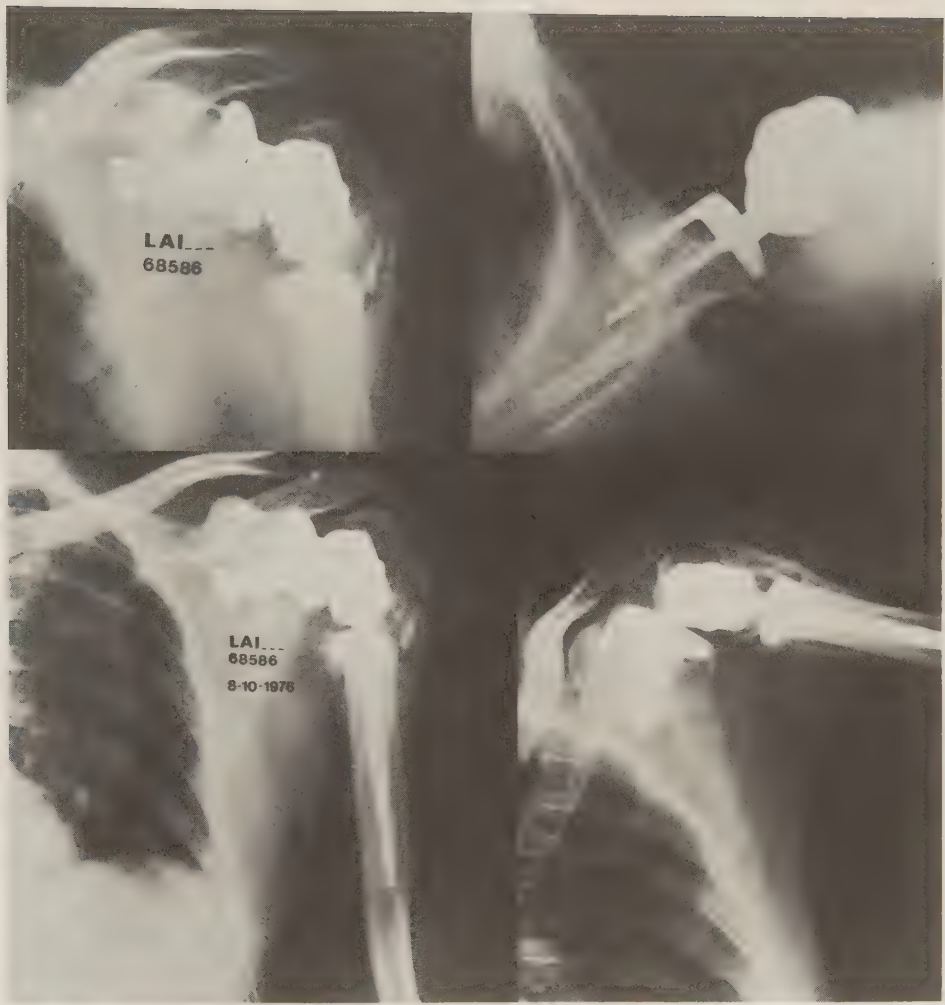


FIGURE 107 : LAI... Marcel - Obs. 68586

Observation n° 4 : (CHO... Thérèse, 86 ans, Obs. 69336).

Echec du traitement orthopédique d'une fracture complexe du col chirurgical de l'humérus gauche.

Opéré le 19.10.1976 : prothèse totale. La pièce humérale n'est pas scellée.

Les suites opératoires ont été simples. Thoraco-brachial pour un mois.

Revu le 19.7.1977 au 9^e mois : pas de douleur ; met la main à la bouche . La mobilité est la suivante : flexion 80°, extension 50°, abduction 100°, adduction 20°, rotation interne 50°, rotation externe 30°. Soulève facilement une chaise avec son bras gauche.

Observation n° 5 : (VIN... Marie, 72 ans, Obs. 69674).

Cal vicieux de l'extrémité supérieure de l'humérus droit avec douleur et raideur de l'épaule (abduction globale 60°).

Opéré le 28.2.1977 : prothèse totale de l'épaule. Pièce humérale non scellée. A été immobilisé un mois sur thoraco-brachial. Les suites ont été marquées par un syndrome d'algodystrophie très invalidant encore incomplètement disparu. Revu le 28.6.1977 au 4^e mois globalement l'épaule est raide puisque l'abduction ne dépasse pas 30° mais il est trop tôt pour juger du résultat, certains malades s'étant améliorés nettement après le 6^e mois.

Dans l'ensemble les malades de cette série sont satisfaits parce qu'ils n'ont plus mal mais objectivement le résultat sur la mobilité reste médiocre puisque si l'on considère la mobilité globale de l'épaule les chiffres sont les suivants :

Observation	Abduction	Adduction	Flexion	Extension	Rotation interne	Rotation externe
1 (recul 13 mois)	80	20	70	35	40	10
2		Prothèse luxée				
3 (recul 12 mois)	90	20	70	40	60	5
4 (recul 9 mois)	100	20	80	50	50	30
5 (recul 4 mois)	30	20	40	20	10	0

La plus grande partie du mouvement se fait dans la scapulo-thoracique, dans la prothèse les mouvements sont très réduits (Figure 106). Il convient de noter cependant que dans ces observations les lésions anatomiques étaient majeures et que les malades le plus souvent âgés n'étaient pas très coopérant pour la rééducation.



II — A PROPOS DES PROTHESES TOTALES DE L'ARTICULATION SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERI).

La médiocrité de beaucoup de résultats obtenus après prothèse totale de l'épaule montrent bien qu'il existe encore un grand nombre de problèmes, certains sont en rapport avec la prothèse elle-même, d'autres avec les lésions anatomiques présentées par le malade.

1. La fixation de la prothèse :

Au niveau de l'épaule le problème est différent de celui de la hanche car s'exercent des forces de traction et non pas de compression. REEVES a bien étudié ce problème : si la prothèse est scellée il faut que les pièces qui permettent l'ancrage dans l'os par l'intermédiaire du ciment ne soient pas lisses mais présentent des aspérités : c'est ainsi qu'une pièce d'acier soumise à des efforts de traction se descelle pour une charge de 2000 à 4000 KN si elle est lisse, de 16.500 KN si elle est rugueuse. On retrouve le même problème du côté huméral et du côté scapulaire. C'est la raison pour laquelle nous avons été favorable au porométal dans le modèle que nous avons conçu : s'il est utilisé sans ciment il sera réhabité ; s'il est utilisé avec du ciment ses aspérités permettent un meilleur ancrage pour résister aux forces de traction.

Mise à part le problème du matériel intervient aussi le mode de fixation dans chacun des deux os. Au niveau de l'humérus le problème est relativement facile : il faut éviter d'utiliser une queue cylindrique qui bloque mal la rotation. Au niveau de l'omoplate le problème est plus complexe. Il existe heureusement à ce niveau un important massif glénoïdien fait de tissu spongieux et de corticales solides. A notre avis, le simple scellement de la pièce scapulaire dans une cavité creusée dans le spongieux est insuffisant ; il faut absolument prendre appui sur les corticales qui représentent un élément de solidité. Il en est de même de la périphérie de la glène, en particulier au-dessus du pilier de l'omoplate où la prothèse peut reposer.

2. Le matériau utilisé :

La plupart des modèles qui existent sur le marché sont en métal plastique (sauf la prothèse de Stanmore métal-métal et certaines prothèses totales allemandes en silastic). Personnellement le modèle que nous avons conçu est en polyéthylène et chrome-cobalt forgé. Nous ne voulons pas dans cette étude intervenir sur ce sujet qui est beaucoup plus général.

3. Prothèse rétentive ou non rétentive ? :

C'est un des problèmes importants sur lequel il est difficile de prendre partie car les deux solutions se défendent.

Un des objectifs de la prothèse totale est d'assurer une stabilité à l'épaule. Cette stabilité est assurée normalement par le contact des surfaces articulaires et les éléments périarticulaires : muscles ligaments et capsule articulaire.

Lorsqu'il existe des lésions importantes qui détruisent tous ces éléments il faut bien s'orienter vers une prothèse rétentive seule gage d'une certaine stabilité. Mais cette stabilité ne sera alors acquise qu'au prix d'une diminution de la mobilité. Le caractère rétentif impose à la prothèse un seul centre de rotation comme toute rotule et la physiologie n'est plus respectée. C'est la raison pour laquelle nous avons choisi un système à double rotule rétentive : la stabilité est assurée, la mobilité dans la prothèse est importante, et l'articulation peut choisir elle-même son centre de rotation. Par contre dans un tel système s'il n'existe plus de rotateurs comme c'est souvent le cas, il n'existe plus de forces pour abaisser l'extrémité supérieure de l'humérus lorsque les muscles élévateurs entrent en jeu ; et une telle prothèse ne peut pas remplacer les rotateurs dans leur rôle de centrage de la tête humérale : lorsque le deltoïde se contractera l'humérus s'élèvera, viendra se bloquer sous la voûte acromiale mais ne pourra pas tourner.

Par contre la prothèse de MAZAS — de LA CAFFINIÈRE permet un tel centrage : les auteurs ont bien montré qu'au cours de l'élévation il existe au niveau de l'articulation des contraintes dirigées en haut et en dedans qui se verticalisent en l'absence de sus-épineux (supraspinatus) ; ceci justifie pleinement le profil de leur cupule qui reconstitue une véritable coiffe passive prothétique, obligeant la tête humérale à tourner (au lieu de s'élever) lors de la contraction des muscles élévateurs.

Par contre la prothèse n'étant pas rétentive la stabilité antéro-postérieure sera mal contrôlée si les muscles rotateurs sont détruits. Cette prothèse remplace donc parfaitement les rotateurs pour abaisser la tête humérale et lui permettre de tourner lorsque le deltoïde se contracte mais elle ne les remplace pas pour assurer la stabilité antéro-postérieure.

Lorsque les lésions anatomiques sont moins importantes il faut choisir dans ce cas une prothèse qui se rapproche le plus possible de l'anatomie. Il n'est pas nécessaire qu'elle soit rétentive si les muscles sont intacts puisqu'ils suffisent à assurer la stabilité.

4. La mobilité :

Elle est fonction, elle aussi du profil de la prothèse et des lésions anatomiques.

- Le dessin de la prothèse doit être tel que l'amplitude de ses mouvements soit égale à l'amplitude des mouvements de l'articulation scapulo-humérale (A. humeri).

- La physiologie des muscles péri-articulaires doit être conservée en particulier le jeu des couples musculaires qui sera bien compromis en cas d'atteinte importante des rotateurs. Nous avons vu que la prothèse de MAZAS compense ce déficit au prix cependant du sacrifice du sus-épineux qui peut, parfois, ne pas être détruit. Dans ce cas la prothèse de LERAT paraît plus satisfaisante puisqu'elle ménage ce muscle.

Il existe chez beaucoup de malades opérés un déficit de la rotation externe que l'on peut attribuer à la voie d'abord lorsqu'il s'agit d'une voie postérieure mais qu'il est plus difficile d'expliquer en cas de voie antérieure. Peut-être s'agit-il de lésion anatomique des rotateurs externes ?

Quoiqu'il en soit nous pensons qu'il peut être utile dans certains cas d'associer à la mise en place de la prothèse une transposition du grand rond (teres major) ou du grand dorsal (latissimus dorsi) comme on le fait dans les paralysies obstétricales du plexus brachial. Il est très important de restaurer la rotation externe même pour permettre l'élévation du bras car nous avons vu que l'abduction maximum ne peut être obtenue que si elle est associée à une rotation externe.



III— LES INDICATIONS.

Les indications de prothèse totale d'épaule sont encore difficiles à classer. Dans l'ensemble on peut dire que les résultats :

- sur la douleur sont presque toujours bons et c'est ce qui explique que le plus souvent les malades soient satisfaits.
- sur la stabilité sont presque toujours bons à condition qu'il n'existe pas de vice de position et que la prothèse soit adaptée aux lésions anatomiques.
- sur la mobilité sont médiocres en général : peut-être parce que la cinématique de la prothèse ne correspond pas à la cinématique de l'épaule normale ; sûrement parce que les prothèses ont souvent été mises en place pour des lésions anatomiques majeures ; probablement aussi parce que le terrain (souvent des vieillards) se prête mal à une rééducation convenable ; et enfin parce qu'il est bien connu que dès qu'on intervient sur l'épaule le risque de raideur est très important du fait des adhérences que l'on crée.

Actuellement il faut donc tenir compte de ces trois facteurs : avec une prothèse d'épaule on peut supprimer la douleur, assurer une épaule stable, mais il est difficile dans certains cas de promettre une mobilité identique à celle d'une épaule normale (en sachant cependant que dans les plus mauvais cas la mobilité sera la même que celle obtenue avec une arthrodèse, c'est-à-dire la mobilité de la scapulo-thoracique.)

A la lumière de ces données nous pensons qu'il est possible d'envisager de la façon suivante les indications :

1. En cas de lésion rhumatismale :

On peut faire une résection à minima des surfaces articulaires et choisir alors une prothèse qui se rapproche le plus possible de l'anatomie. Il existe cependant souvent dans de tels cas des lésions dégénératives de la coiffe des rotateurs c'est pourquoi notre préférence irait plutôt vers une prothèse type prothèse de MAZAS - de LA CAFFINIÈRE ou prothèse de LERAT. En effet la stabilité est peu compromise et il est intéressant de reconstituer une coiffe artificielle passive qui améliorera la mobilité.

Si la rotation externe est limitée on peut transposer un rotateur interne pour tenter de l'améliorer mais nous n'avons pas l'expérience de ce type de transplantation dans de tels cas.

2. Dans les lésions traumatiques :

. **anciennes** : si les lésions anatomiques sont importantes (fracas osseux, atrophie musculaire en particulier des rotateurs) la double rotule que nous avons utilisée peut donner un résultat relativement satisfaisant en particulier sur la douleur, sur la stabilité et avec une mobilité limitée certes mais suffisante pour les gestes de la vie courante (abduction 80-90°). Si les lésions anatomiques sont moins importantes, en particulier intégrité des rotateurs, le problème est le même que celui des lésions rhumatismales.

. **récentes** : là encore, l'indication est fonction des lésions anatomiques.

S'il s'agit d'un fracas qui intéresse l'insertion des rotateurs et où il s'agit pratiquement d'une résection au niveau du col chirurgical notre préférence va à la double rotule ; si les lésions sont moins importantes, s'il est possible de conserver l'insertion des rotateurs il faut choisir comme précédemment une prothèse plus anatomique. Dans ces cas d'ailleurs il convient de discuter les prothèses purement humérale, en particulier peut-être les prothèses dites "intermédiaires" comme le fait BOUSQUET.

Faut-il opérer les lésions fraîches de l'extrémité supérieure de l'humérus ? certainement pas

mais nous pensons que lorsque le pronostic fonctionnel est à coup sûr très mauvais (certaines fractures-luxations postérieures de l'épaule par exemple ou certains gros fracas de l'extrémité supérieure de l'humérus chez les vieillards) il vaut mieux proposer rapidement la prothèse avant que les muscles ne s'atrophient ; c'est à notre avis un facteur important de réussite.



IV— LES SOINS POST-OPERATOIRES ET LA REEDUCATION.

Nous avons immobilisé nos malades en post-opératoires sur thoraco-brachial pendant plusieurs semaines mais il n'est pas certain que cette immobilisation soit favorable à une bonne évolution : les malades sont très gênés et la mobilisation est retardée. C'est pourquoi nous pensons maintenant que la mobilisation précoce, bien conduite doit permettre de prévenir les adhérences et une récupération fonctionnelle meilleure. En nous inspirant des idées de HUGUES et NEER nous avons essayé de proposer un protocole pour la rééducation :

- En post-opératoire le bras est immobilisé en abduction pendant 4 à 5 jours ; le thoraco-brachial étant ensuite remplacé par une simple écharpe de maintien entre les exercices pendant une dizaine de jours.

- Très précocement sont entrepris des exercices assistés par le malade lui-même guidé par un kinésithérapeute qui lui apprendra des postures de relaxation pour éviter la douleur. La rééducation se répartit quotidiennement en cinq séances de 10 minutes que le malade est rapidement capable de conduire tout seul.

1. Pendant les quinze premiers jours :

Il faut éviter les mouvements de flexion et d'abduction actifs jusqu'à la cicatrisation des muscles. Par contre, sont entrepris des mouvements assistés.

- Le malade étant couché sur le dos il commence à mobiliser son épaule en flexion et en rotation interne : coude fléchi à angle droit il prend avec sa main saine la main du côté opéré et la porte d'abord au menton puis à la bouche puis au front ...

Les exercices d'étirement passifs par le kinésithérapeute sont à proscrire, ils sont à l'origine de douleurs et de phénomènes réflexes néfastes.

- Au 7^e jour post-opératoire des mouvements pendulaires sont entrepris, ajoutés aux précédents. Tronc fléchi, le malade exécute avec son bras maintenu en écharpe des cercles le bras étant soit en rotation externe, soit en rotation interne. Ce sont les mêmes types de mouvements que ceux réalisés avec un plâtre pendant après fracture de l'extrémité supérieure de l'humérus.

- Vers le 12^e jour post-opératoire la rééducation se fait debout : la mobilisation sera toujours assistée avec le membre non opéré : le malade empoigne avec ses deux mains un baton et effectue des mouvements de flexion, d'abduction et même d'extension-rotation interne s'il place le baton dans le dos. Les exercices de poulie peuvent être entrepris en insistant sur la phase de relaxation.

2. Après le 15^e jour :

- Les exercices tendent à développer la rotation externe : le malade allongé met ses deux mains sur la nuque, fait redescendre de chaque côté ses coudes et procède à l'inverse pour revenir à la position initiale.

- En même temps sont entrepris des exercices de contractions isométriques : coude fléchi à 90°, maintenu près du tronc, il utilise soit un mur soit la main opposée pour créer la résistance. Chaque position est tenue à peu près cinq secondes.

- A la fin du premier mois sont commencés les exercices pendulaires actifs de flexion, d'abduction, de rotation, en même temps que des exercices d'étirement. Les exercices à la poulie sont poursuivis pour la relaxation. Quand la force du malade est suffisante les exercices de résistance sont ajoutés : les exercices de résistance à la flexion peuvent être réalisés avec un appareillage élastique ; ces exercices s'appliquent de la même façon à la rotation interne, à la rotation externe. En même temps il faut encourager l'utilisation du bras dans la vie courante.

Cette rééducation doit se poursuivre plusieurs mois et être entretenue plusieurs années.

— CONCLUSIONS —

Les problèmes soulevés par la conception et la mise en place d'une prothèse totale de la scapulo-humérale (A. humeri) sont loin d'être résolus. Ce fait est compréhensible puisque l'anatomie et la physiologie de ce complexe articulaire comportent un grand nombre d'inconnus.

Au cours d'une première partie nous avons présenté d'une part une synthèse des connaissances actuelles, d'autre part les résultats de travaux personnels :

— En ce qui concerne l'ANATOMIE nous nous sommes surtout intéressés :

- à l'étude des courbures des surfaces articulaires, en particulier de la tête humérale qui dans le plan frontal présente deux courbures.
- à l'étude de la vascularisation de l'extrémité supérieure de l'humérus afin de préciser les pédicules et la distribution du réseau artériel intraosseux.
- à l'architecture de l'humérus et du scapulum

— En ce qui concerne la PHYSIOLOGIE nos travaux sont orientés dans deux directions :

1. Des études cinématiques de toutes les articulations ont permis de préciser la situation des centres instantanés de rotation au cours des mouvements simples dans les trois plans de l'espace. Les résultats les plus intéressants concernent l'articulation scapulo-humérale (A. humeri) qui au cours de l'abduction présente successivement dans le plan frontal deux zones de concentration des centres de rotation.

Ces travaux ne sont que le premier pas vers des études plus complètes et sur un nombre plus grand de cas aussi bien normaux que pathologiques.

2. Des études sur la physiologie musculaire à l'aide d'un montage mécanique qui confirment les résultats électromyographiques et tentent de quantifier de façon relative les actions musculaires en particulier dans le déclenchement de l'abduction, de la flexion et de l'extension du bras.

Au cours d'une seconde partie, après une étude critique de certains modèles de prothèses totales nous présentons un modèle original conçu à partir des données cinématiques étudiées chez des sujets normaux. Cinq malades ont été opérés : si les résultats sur la douleur et sur la stabilité de l'épaule sont bons dans quatre cas, la mobilité est insuffisante ; et ceci probablement parce que la conception de cette prothèse ne tient pas assez compte de la physiologie musculaire. D'après les données de la littérature il semble que la prothèse de MAZAS soit la seule à avoir donné quelques bons résultats, mais certains problèmes subsistent.

A notre avis, il faut poursuivre les recherches dans le domaine cinématique et pour les exploiter au maximum il importe de les coupler à des recherches sur la physiologie des muscles périarticulaires.

Le Président de la Thèse

Professeur de MOURGUES

Vu et Permis d'Imprimer

LYON, le 5 Septembre 1977

Le Président de l'Université

Président du Comité de Coordination
des Etudes Médicales.

D. GERMAIN

Vu, le Directeur

l'Unité ALEXIS CARREL

Professeur R. MORNEX

— BIBLIOGRAPHIE —

1 - ABBOT L.C., LUCAS D.B.

The function of the clavicle : its surgical significance.
Ann. Surg. 1954, 140, 583-597

2 - BATEMAN J.E.

The shoulder and neck
W.B. Saunders Philadelphia 1972

3 - BEARN J.G.

An electromyographic study of the trapezius, deltoïd , pectoralis major, biceps and triceps muscles during static loading of the upper limb.
Anat. Rec. 1961, 140, 103-108

4 - BIERMAN W. et YAMSHON L.J.

Electromyography in Kinesiologic evaluations
Arch. Phys. Med. 1948, 29, 206-211

5 - BORON M. et SEVIN M.

Prothèse acrylique de l'épaule
Presse Med. 1951, 59, 71, 1480

6 - BONNEL F. et RABISCHONG P.

Etude bio-mécanique de l'articulation de l'épaule : conceptions actuelles
Actualités en rééducation fonctionnelle et réadaptation 1977, 107-110

7 - BOUCHET A. et CUILLERET J.

Anatomie topographique. Le membre supérieur (fascicule 1)
SIMEP édit. LYON 1973

8 - BRICARD R.

Leçons de cinématique
Gauthier Villars édit. PARIS 1950

9 - CAFFINIERE (de la) J.Y., MAZAS F., MAZAS Y., PELISSE F., PRESENT D.

Prothèse totale d'épaule
INSERM édit. PARIS 1975

10 - CARRET J.P., FISCHER L.P. et GONON G. (avec la collaboration de COMTET J.J., DIMNET J. et BROSSARD J.P.)

Position de l'axe du mouvement d'abduction dans la scapulo-humérale
Bull. Ass. Anat. 1974, 58, 163, 805-811

- 11 - **CASTAING J., GOUAZE A., SOUTOUL J.H., et PLISSON J.L.**
Les contacts tête-glène dans les différentes positions de l'articulation scapulo-humérale.
C.R. Ass. Anat. 1965, 259-264

- 12 - **CASTAING J., GOUAZE A., SOUTOUL J.H., CHANTEPIE G., CHATELAIN R. et LEGENDRE J.**
Les éléments anatomiques du blocage de la rotation de l'humérus en abduction maxima de l'articulation scapulo-humérale.
C.R. Ass. Anat. 1963, 426-435

- 13 - **CHAMBAT P.**
Les luxations récidivantes postérieures de l'épaule.
Thèse Méd. LYON 1974

- 14 - **CLARKE G.R.**
Measurement in shoulder problems.
Rheumatology and Rehabilitation 1976, **15**, 191-193

- 15 - **CLAVEL Ch.**
Le signe radiologique du décrochement huméro-glénoïdien.
Lyon Chir. 1956, **51**, 470-472

- 16 - **CLERMONT A.**
La microangiographie. Etude technique et applications en pathologie renale.
Thèse Méd. LYON 1971

- 17 - **CODMAN E.A.**
The shoulder.
Thomas Todd Co. édit. BOSTON 1934

- 18 - **COMTET J.J. et AUFFRAY Y.**
Physiologie des muscles éleveurs de l'épaule
Rev. Chir. Orthop. 1970, **56**, 2, 105-117

- 19 - **CONWAY A.M.**
Movements at the sternoclavicular and acromioclavicular joints.
The Physical Therapy Review 1961, **41**, 6, 421-432

- 20 - **COSSETTE J., FARFAN H., ROBERTSON G. et WELLS R.**
The instantaneous center of rotation of the third lumbar intervertebral joint.
J. Biomechanics 1971, **4**, 149-153

- 21 - **DEBEYRE J., PATTE D. et ELMELIK E.**
Repair of ruptures of the rotator cuff of the shoulder. With a note on advancement of the supraspinatus muscle.
J. Bone Joint Surgery 1965, 47 B, 36

- 22 - **DEBEYRE J. et PATTE D.**
Traitement chirurgical de la périarthrite scapulo-humérale.
E.M.C. Techniques chirurgicales orthop. - trauma. 2 - 44285
- 23 - **DIMNET J., CARRET J.P., GONON G. et FISCHER L.P.**
A technique for joint center analysis using a stored program calculator.
J. Biomechanics 1976, 9, 771-778
- 24 - **DUCHENNE de BOULOGNE G.B.**
Physiologie des mouvements
Baillière J.B. édit. PARIS 1867
- 25 - **DUROUX P.E., BARRY P. et GABRIELLE Cl.**
De la qualité des os de l'articulation de l'épaule.
C.R. Ass. Anat , 1954, **79**, 339-350
- 26 - **ELLOY M.A., WRIGHT J. T. M. et CAVENDISCH M.E.**
The basic requirements and design criteria for total joint prosthesis
Acta Orthop. Scand. 1976, **47**, 193-202
- 27 - **ENGEL T.J.**
Method of kinematic study of normal upper extremity movements.
Arch. Phys. Med. 1968, **49**, 9-12
- 28 - **FERY A.**
La vascularisation osseuse.
Thèse Med. Nancy 1972
- 29 - **FICK R.**
Handbuch der anatomie und mechanik der gelenke unter berücksichtigung der beweglichen muskeln
G. FISCHER édit. IENA 1911
- 30 - **FISCHER L., CARRET J.P., SCHUHL J.F. et MORIN A.**
Aspect anatomique des bourses séreuses de l'épaule. Application pratique.
LYON Med. 1973, **230**, 17, 571
- 31 - **FISCHER L., NOIRCLERC J.A., NEIDHART J.H., SPAY G. et COMTET J.J.**
Etude anatomo-radiologique de l'importance des différents ligaments dans la contention verticale de la tête de l'humérus (l'origine du décrochement gléno-huméral de Ch. CLAVEL)
LYON Med. 1970, **223**, 11, 629-633
- 32 - **FISCHER L.P., VUILLARD P., BLANC J.F. et BOUCHET A.**
L'articulation coracoclaviculaire (à propos de 3 cas cliniques, 56 dissections cadavériques et de l'examen de 228 pièces osseuses).
LYON Med. 1971, **225**, 12, 1257-1260

- 33 - FISCHER L., CARRET J.P., GILLET J.P., MORIN A. et BOUCHET A.
Vascularisation artérielle de l'humérus chez l'homme.
Bull. Ass. Anat. 1974, **58**, 163, 859-866
- 34 - FISCHER L.P., CARRET J.P., GONON G.P. et DIMNET J.
Etude cinématique des mouvements de l'articulation scapulo-humérale (articulatio humeri)
Rev. Chir. Orthop. 1977 Suppl. II, **63**, 108-112
- 35 - FREEDMANN L., MUNRO R.R.
Abduction of the arm in the scapular plane : scapular and gleno-humeral movements
J. Bone Joint Surgery 1966, **48A**, 1503-1510
- 36 - GALMICHE P.
Periarthrite scapulo-humérale
E.M.C. App. Locom. **4**, 14350 A₁₀
- 37 - GAUDILLIERE J.
Traitement chirurgical des ruptures traumatiques de la coiffe des rotateurs de l'épaule. A propos de quinze cas.
Thèse Med. LYON 1975
- 38 - GERARD Y.
Problèmes physiologiques de l'épaule implications pathologiques.
Vie Médicale 1965, **46**, 1113-1127
- 39 - GERARD Y., LEBLANC J.P., ROUSSEAU B. (avec la collaboration de LANNELONGUE J., BURDIN Ph., CASTAING J.)
Une prothèse totale d'épaule
Chirurgie 1973, **99**, 655-663
- 40 - GLUCK Th.
Arch. Klin. Chir. 1891, **41**, 187-259
- 41 - GONON G.P.
Etude biomécanique de la colonne dorso-lombaire de D₁₀ à S₁
Thèse Med. LYON 1975
- 42 - GOUAZE A., CASTAING J., SOUTOUL J.H., et CHANTEPIE G.
Sur l'orientation de l'omoplate et de sa cavité glénoïde.
Archives d'Anatomie Pathologique 1962, **10**, 3, 175-181
- 43 - GRANT P.G.
Biomechanical significance of the instantaneous center of rotation : the human temporo-mandibular joint.
J. Biomechanics 1973, **6**, 1, 109-115

- 44 - **GRAY H.**
Anatomy of the human body
Lea et Feliger edit., Philadelphia 1966.
- 45 - **GUILLOT M.**
Contribution à l'étude des muscles du complexe articulaire de l'épaule chez l'homme vivant.
Etudes radiologique et électromyographique.
Thèse Med. Clermont-Ferrand 1972.
- 46 - **HOBSON D.A., TORFASON L.E.**
Optimization of four - bar knee mechanisms. A computerized approach.
J. Biomechanics 1974, 7, 4, 371-377
- 47 - **HOLLINSHEAD W.H.**
Text book of Anatomy. Second Edition.
Harper and Row, New York 1967
- 48 - **HOVELACQUE A., MONOD O., EVRARD H.**
Treize coupes horizontales du thorax.
Maloine edit. PARIS 1938
- 49 - **HUGUES M. et NEER Ch.**
Gleno-humeral joint replacement and postoperative rehabilitation.
Physical Therapy 1975, 55, 8, 850-858.
- 50 - **INMAN V.T., SAUNDERS S.M., et ABBOTT L.C.**
Observations on the function of the shoulder joint.
J. Bone joint Surgery 1944, 26, 1, 1-30
- 51 - **JOBINS B., FLOWERS M.,REEVES B.**
Fixation of orthopaedic implants under tensile loading
Biomedical engineering 1973, 380-383
- 52 - **KAPANDJI I.A.**
Physiologie articulaire. Fasc. 1
Maloine edit. PARIS 1966
- 53 - **KATZNER M., PETIT R., SABIN S. et SCHVINGT E.**
Remplacement humeral par prothèse en silastic.
A propos d'une métastase opérée.
La Nouvelle Presse Médicale 1974, 3, 11, 669-670
- 54 - **KENMORE P.I.**
A simple shoulder replacement
Read at Clemson University Biomaterials Symposium 1973.

- 55 - LAING P.G.
The arterial supply of the adult humerus
J. Bone Joint Surgery 1956, **38A**, 1105-1116
- 56 - LATARJET M. et BOUCHET A.
Considerations sur le mouvement d'élévation du bras à la verticale.
C.R. Ass. Anat. 1963, **121**, 221-228
- 57 - LAVEU J.
La nécrose post-traumatique de l'extrémité supérieure de l'humérus.
Thèse Med. LYON 1968
- 58 - LECLERC-CHALVET F.
Luxation récidivante de l'épaule
Thèse Med. LYON 1970
- 59 - LECOEUR P.
Physiologie de l'épaule. Forces des muscles de l'épaule.
Journées de chirurgie de l'épaule (J. DUPARC) PARIS 7-8 Fév. 1975
- 60 - LETTIN A.W.F. et SCALES J.T.
Total replacement of the shoulder joint (two cases)
Proc. Roy. Soc. Med. 1972, **65**, 4, 373-374
- 61 - LETTIN A.W.F. et SCALES J.T.
Total replacement arthroplasty of the shoulder in rheumatoid arthritis
J. Bone Joint Surgery 1973, **55B**, 217
- 62 - LUCA (de) C.J. et FORREST W.J.
Force analysis of individual muscles acting simultaneously on the shoulder joint during isometric abduction.
J. Biomechanics 1973, **6**, 385-393
- 63 - LUCAS D.B.
Biomechanics of the shoulder joint.
Arch. Surgery 1973, **107**, 425-432
- 64 - LYSSEL E.
Motion in the cervical spine.
Acta Orthop. Scand. suppl. 123, 1969
- 65 - MARTIN C.P.
Movements of the shoulder joint with special reference to rupture of the supraspinatus tendon.
Am. J. Anat. 1940, **66**, 213-234

- 66 - MAYER L.**
Transplantation of the trapezius for paralysis of the abductors of the arm
J. Bone Joint Surgery 1927, 9, 412
- 67 - MAZAS F., de la CAFFINIÈRE J.Y. et le CERAVAL.**
Une nouvelle prothèse totale d'épaule.
Rev. Chir. Orthop. Suppl. II, 1977, **63**, 113-115
- 68 - MORIN A., SCHUHL J.F., FISCHER L.P., CARRET J.P. et GONON G.**
Etude de la vascularisation de la capsule scapulo-humérale.
Données anatomiques et application chirurgicale.
Arch. Anat. Path. 1975, **23**, 4, 299-301
- 69 - MOSELEY H.F., GOLDIE I.**
The arterial pattern of the rotator cuff of the shoulder.
J. Bone Joint Surgery 1963, 45B, 4, 780-789
- 70 - MOSELEY H.F.**
Shoulder lesions
Churchill Livingstone edit. EDINBURGH and LONDON 1972
- 71 - MOURGUES G. (de), FISCHER L., RAY A., GRAMMONT P.**
Subluxations inférieures au cours de certaines fractures de l'extrémité supérieure de l'humérus
(le décrochement gléno-huméral de Charles Clavel en traumatologie).
LYON Chir. 1969, **65**, 4, 553-557
- 72 - NEER Ch. S.**
Articular replacement of the humeral head.
J. Bone Joint Surgery 1955, **37A**, 215-228
- 73 - NEER Ch. S.**
Replacement arthroplasty for gleno-humeral osteoarthritis.
J. Bone Joint Surgery 1974, **56A**, 1, 1-13
- 74 - NEIDHART J.H., MORIN A., LAVEU J., NOIRCLERC A. et FISCHER L.**
Vascularisation de l'extrémité supérieure de l'humérus.
Bull. Ass. Anat. 1970, **145**, 1, 312-318.
- 75 - OGDEN J.A., WEIL U.H. et HEMPTON R.F.**
Developmental Humerus Varus
Clin. Orthop. 1976, 116, 158-166
- 76 - PALMA (de) A.F.**
Degenerative changes in the sternoclavicular and acromioclavicular joints in various decades.
Charles C. Thomas, Springfield, Ill., 1957

- 77 - PALMA (de) A.F.**
Surgery of the shoulder
Lippincott J.B. Compagny, Philadelphia - Toronto, 1973
- 78 - PANSKY B. and HOUSE E.L.**
Review of gross Anatomy
Collier - Macmillan Ltd. New-York, London, 1967
- 79 - PATTE D.H.**
Traitement chirurgical des ruptures de la coiffe des rotateurs de l'épaule
(à propos de 66 observations).
Thèse Med. PARIS 1963
- 80 - PATURET G.**
Traité d'Anatomie Humaine.
Masson et Cie édit. PARIS 1958
- 81 - PIZON P.**
Osteométrie scapulo-humérale.
La Presse Médicale 1959, **67**, 40, 1531-1533
- 82 - PIZON P.**
Cinématique de l'articulation scapulo-humérale.
J. de Radiologie 1951, **32**, 7-8, 617-621
- 83 - POIRIER P. et CHARPY A.**
Traité d'Anatomie Humaine.
Masson édit. PARIS 1899
- 84 - PROVINS K.A.**
Ergonomics for industry. 7. Men machines and controls.
London : Dept. Sc. Ind. Research 1965
- 85 - RATHBUN J.B., MACNAB I.**
The microvascular pattern of the rotator cuff.
J. Bone Joint Surgery 1970, 52B, 3, 540-553
- 86 - RAZEMON J.P. et BAUX S.**
Les fractures et les fractures-luxations de l'extrémité supérieure de l'humérus.
Rev. Chir. Orthop. 1969, **55**, 5, 388-496.
- 87 - REEVES B.**
Experiments on the tensile strength of the anterior scapular structures of the shoulder in man.
J. Bone Joint Surgery 1968, **51B**, 858

88 - REEVES B., JOBBINS B., FLOWERS M.

Biomechanical problems in the development of a total shoulder endoprosthesis.
in Proceeding of the British Orthopaedic Society.
J. Bone Joint Surgery 1972, **54B**, 193

89 - ROLANDER S.

Motion of the lumbar spine with special reference to the stabilizing effect of posterior fusion.
Acta Orthop. Scand. Suppl. 90, 1966

90 - ROUVIERE H.

Anatomie Humaine descriptive et topographique.
Masson et Cie édit. PARIS 1924

91 - ROY - CAMILLE R.

Coupes horizontales du tronc. Atlas anatomique.
Masson ed. PARIS 1959

92 - SAHA A.K.

Dynamic stability of the glenohumeral joint.
Acta Orthop. Scand. 1971, **42**, 491-505.

93 - SAHA A.K.

Mechanics of elevation of glenohumeral joint. Its application in rehabilitation of flail shoulder in upper brachial plexus injuries and poliomyelitis and in replacement of the upper humerus by prosthesis.
Acta Orthop. Scand. 1973, **44**, 668-678

94 - SALMON M.

Artères des muscles des membres et du tronc.
Masson et Cie. édit. PARIS 1933

95 - SENEGAS J., PINSOLLE J. et VITAL J.M.

Anatomie fonctionnelle. L'EPAULE.
Bergeret Edit. Bordeaux 1976

96 - SCHNEPP J., COMTET J.J., CETRE J. et RAY A.

Valeur du traitement non sanglant des fractures de l'omoplate.
LYON Medical 1968 - 809-813

97 - SCHUHL J.F.

Les fractures - luxations de l'extrémité supérieure de l'humérus.
A propos de 28 observations.
Thèse Med. LYON 1973

98 - SEZE (de) S. et DEBEYRE J.

Le substratum anatomique des périarthrites de l'épaule.
Rev. Rhumat. 1952, **19**, 2, 119-123

- 99 - **SEZE (de) S., DEBEYRE J. et DENIS A.**
Les rhumatismes de l'épaule.
Sem. Hôp. Paris 1953, **29**, 37, 1855-1871

- 100 - **SEZE (de) S., RYCKEWAERT A., WELFING J., RENIER J.C., HUBAULT A., CAROIT M. et POINSARD G.**
Etude anatomique de l'épaule sénile.
Rev. Rhumat. 1961, **28**, 3, 85-94

- 101 - **SHEVLIN M.G., LEHMANN J.F. et LUCCI J.A.**
Electromyographic study of the function of some muscles crossing the glenohumeral joint.
Arch. Phys. Med. 1969, **50**, 264-270

- 102 - **SMIDT G.L.**
Biomechanical analysis of knee flexion and extension.
J. Biomechanics 1973, **6**, 1, 79-93

- 103 - **SOHIER R.**
Kinesitherapy of the shoulder.
J. Wright and Sons Ltd. 1967

- 104 - **SOUTOUL J.H., CASTAING J., THUREAU J., GIOVANNI (de) E., GLORIES P., JAN M. et BARBAT J.P.**
Les rapports tête humérale - glène scapulaire dans l'abduction du membre supérieur.
C.R. Ass. Anat. 1966, 134, 961-971

- 105 - **STEINDLER A.**
Kinesiology of the human body
Ch. C. Thomas édit. SPRINGFIELD 1964

- 106 - **STRASSER H.**
Lehrbuch der muskel und gelenkmechanik
J. Springer Berlin 1917

- 107 - **TERNON Y.**
Anatomie fonctionnelle et physiologie de l'épaule.
Rev. Prat. (Paris) 1968, XVIII, 2, 151-158

- 108 - **TESTUT L. et LATARJET A.**
Traité d'anatomie humaine.
G. Doin Edit. PARIS 1928

- 109 - **TRILLAT A., DEJOUR H. et ROULLET J.**
Luxation récidivante de l'épaule et lésions du bourrelet glénoïdien.
Rev. Chir. Orthop. 1965, **51**, 6, 525-544

- 110 - TRILLAT A., LECLERC - CHALVET F.**
Luxation récidivante de l'épaule.
Masson Edit, PARIS 1973
- 111 - TRUETA J. et CAVADIAS A.X.**
Study of blood supply of long bones.
Surg. Gynec. Obst. 1964, **118**, 485-498
- 112 - VAN LINGE B. et MULDER J.D.**
Function of the supraspinatus muscle and its relation to the supraspinatus syndrome.
An experimental study in man.
J. Bone Joint Surgery 1963, **45B**, 750-755
- 113 - VANNEUVILLE G., MERCIER R., GUILLOT M., VIALLET J-F., MERLE P.**
A propos d'une nouvelle méthode de mise en évidence des muscles péri-scapulaires.
Arch. Anat. Path. 1973, **21**, 4, 389-393
- 114 - WATSON-JONES R.**
Fractures and Joint Infuries - 4e edition.
E. et S. Livingston edit., London, 1955
- 115 - WELFLING J.**
Acquisitions récentes sur l'anatomie et la physiopathologie de l'épaule.
Rev. Prat. (Paris) 1968, **18**, 2, 161-168.
- 116 - YAMSHON L.J. et BIERMAN W.**
Kinesiologic electromyography. II. The trapezius
Arch. Phys. Med. 1948, **29**, 647-651
- 117 - YAMSHON L.J. et BIERMAN W.**
Kinesiologic electromyography. III. The deltoïd.
Arch. Phys. Med. 1949, **30**, 286-289
- 118 - ZIPPEL J.**
Complete shoulder joint replacement out of plastic and metal.
Biomedizinische Technik 1972, **17**, 3, 87-91
- 119 - ZIPPEL J.**
Arthroplastik des schultergelenkes
Der Orthopäde 1973, **2**, 1, 107-109



— TABLE DES MATIERES —

CHAPITRE I. : ANATOMIE DE L'EPAULE.

I — LES ARTICULATIONS DE L'EPAULE	3
1 — L'ARTICULATION SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERI)	3
2 — L'ARTICULATION STERNO-CLAVICULAIRE (A. STERNOCLAVICULARIS)	27
3 — L'ARTICULATION ACROMIO-CLAVICULAIRE (A. ACROMIOCLAVICULARIS)	29
4 — L'ARTICULATION SCAPULO-THORACIQUE	31
5 — L'ARTICULATION SOUS-ACROMIALE	33
II — LES MUSCLES DE L'EPAULE	35
I — LES MUSCLES SCAPULO-HUMERAUX	35
II — LES MUSCLES AXIO-HUMERAUX	40
III — LES MUSCLES AXIO-SCAPULAIRES	41
IV — LES MUSCLES SCAPULO-ANTEBRACHIAUX	44

CHAPITRE II. : ETUDE CINEMATIQUE DES MOUVEMENTS DE L'EPAULE.

I — LES MOUVEMENTS DE L'EPAULE	49
II — ETUDE CINEMATIQUE	53
1 — HISTORIQUE	53
2 — ETUDES PERSONNELLES	53
MATERIEL ET METHODE	54
RESULTATS	60
A — ETUDE ANALYTIQUE	60
1 — L'ARTICULATION SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERI)	62
2 — L'ARTICULATION STERNO-CLAVICULAIRE (A. STERNO CLAVICULARIS)	70
3 — L'ARTICULATION SCAPULO-THORACIQUE	73
4 — L'ARTICULATION ACROMIO-CLAVICULAIRE (A. ACROMIO CLAVICULARIS)	76
B — ETUDE SYNTHETIQUE	80

CHAPITRE III. : PHYSIOLOGIE DES MUSCLES DE L'ÉPAULE.

I – ETUDE ANALYTIQUE	87
1 – DELTOÏDE (DELTOIDEUS)	87
2 – SUS-ÉPINEUX (SUPRASPINATUS)	89
3 – SOUS-SCAPULAIRE (SUBSCAPULARIS)	91
4 – SOUS-ÉPINEUX (INFRASPINATUS)	93
5 – PETIT ROND (TERES MINOR)	93
6 – GRAND ROND (TERES MAJOR)	95
7 – GRAND PECTORAL (PECTORALIS MAJOR)	95
8 – GRAND DORSAL (LATISSIMUS DORSI)	97
9 – LONGUE PORTION DU BICEPS (BICEPS BRACHII-CAPUT LONGUM)	97
10 – TRAPEZE (TRAPEZIUS)	97
11 – GRAND DENTELE (SERRATUS ANTERIOR)	100
12 – ANGULAIRE DE L'OMOPLATE (LEVATOR SCAPULAE)	100
13 – RHOMBOÏDE (RHOMBOIDEUS)	100
II – ETUDE QUANTITATIVE	102
METHODE	102
RESULTATS	104
I – DECLENCHEMENT DE L'ABDUCTION	104
II – DECLENCHEMENT DE LA FLEXION	108
III – DECLENCHEMENT DE L'EXTENSION	112
III- ETUDE SYNTHETIQUE	116
I – ELEVATION DU BRAS AU ZENITH	116
II – EXTENSION DU BRAS	121
III – ADDUCTION DU BRAS	123
IV – ROTATIONS DU BRAS	123

CHAPITRE IV. : PROTHESES TOTALES DE L'ARTICULATION SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERI).

I – LES DIFFERENTS TYPES D'ARTHROPLASTIES PROTHETIQUES DE L'ÉPAULE	131
A – LES PROTHESES HUMERALES SIMPLES ET LES PROTHESES HUMERALES MASSIVES	131

B – LES PROTHESES TOTALES DE L'ARTICULATION
SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERI) 132

II – A PROPOS DES PROTHESES TOTALES DE L'ARTICULATION
SCAPULO-HUMERALE (A. HUMERI) 158

III- LES INDICATIONS 160

IV- LES SOINS POST-OPERATOIRES ET LA REEDUCATION 162

CONCLUSIONS 163

BIBLIOGRAPHIE 165



